



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## OPRAVÁRENSKÁ STANICE PRO BGA, PLCC, QFP, SOP A DALŠÍ SMD KOMPONENTY

SMD REWORK STATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Szabó

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

BRNO 2019

## **Abstrakt**

Práca sa zaoberá teóriou spájkovaného spoja a podmienky jeho správneho vytvárania. Ďalej sú rozoberané spôsoby ručného spájkovania a spôsoby regulácie pracovnej teploty spájkovacieho hrotu. Je naznačený postup vytvorenia výrobku a jeho základné črty. V praktickej časti je navrhnuté riešenie spájkovacej stanice s mikrospájkou, odsávačkou, teplovzdušnou pištoľou a vákuovou výevou, ktoré je aj skonštruované. Pri oživení sa zistí nefunkčnosť výkonového bloku ktorá zabraňuje úspešnému dokončeniu.

## **Kľúčové slová**

spájka, mikrospájka, intermetalické zlúčeniny, oxidy, tavidlo, pretavovací profil, termočlánok, mikrokontrolér, triak, Arduino, DPS, I<sup>2</sup>C

## **Abstract**

This thesis describes the theory of solder joint and conditions under which it is formed correctly. Further, methods of hand soldering are discussed, and possibilities of temperature regulation of soldering tip are analyzed. Methods of creating a soldering station and its key features are depicted. In practical part, the solution of how to create a soldering station with soldering iron, desolder gun and heatgun is given and is constructed. While testing a defect is found that prevents the power portion of soldering station to function properly and prevents completion.

## **Keywords**

solder, soldering station, intermetallic compounds, oxidization, flux, reflow profile, thermocouple, microcontroller, triac, Arduino, PCB, I<sup>2</sup>C

### **Bibliografická citácia:**

SZABÓ, Michal. Opravárenská stanice pro BGA, PLCC, QFP, SOP a další SMD komponenty [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119447>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Zoltán Szabó.

## **Prohlášení autora o původnosti díla**

*„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Opravárenská stanice pro BGA, PLCC, QFP, SOP a další SMD komponenty jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.*

*Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.*

.

V Brně dne: **28.května.2019**

.....  
Michal Szabó, podpis

## **Pod'akovanie**

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Zoltánovi Szabóovi, Ph.D. za trpezlivú, metodickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady, ktorými mi pomáhal pri zrode aj spracovaní mojej bakalárskej práce. Ďakujem kolegovi Martinovi Rejtharovi za jeho rýchlu a obetavú pomoc pri riešení problémov mojej práce na úkor jeho vlastnej práce. Ďakujem rodičom a priateľom za povzbudenie a motiváciu riešiť prekážky pri realizácii celého projektu.

V Brne dňa: 27.5.2019

.....  
podpis autora

# Obsah

1	Úvod.....	7
2	Spájkovanie .....	8
2.1	Spájka.....	8
2.1.1	Správna technika spájkovania.....	10
2.1.2	Prehľad ručného spájkovania.....	15
3	Vlastné riešenie problému.....	21
3.1	Firmvér.....	24
3.2	Ovládacie prvky .....	25
4	Realizácia práce .....	28
4.2	Konektory.....	31
4.3	Komponenty.....	32
4.3.1	Mikrokontrolér.....	32
4.3.2	Periférie.....	33
4.3.3	Ovládanie .....	34
4.3.4	Zmeny .....	35
4.4	Oživenie .....	38
4.4.1	Termočlánok .....	43
4.4.2	Výkonová regulácia .....	45
4.5	Firmvér.....	49
5	Záver .....	54
A	Schémy zariadenia .....	62
B	Dosky plošných spojov .....	64
C	Zoznam súčiastok.....	66

# 1 ÚVOD

Téma bakalárskej práce bola založená renovácii existujúcej spájkovacej stanice. Táto stanica bola komerčným výrobkom s nevalnou kvalitou a pred vznikom tohto zadania bola úplne nefunkčná. Jej riadiaca elektronika nedosahovala kvalít amatérskej výroby, čo viedlo k rýchlemu opotrebeniu celého zariadenia.

Úlohou tejto práce však nebola len rýchla oprava, ale hlavne zlepšenie merateľných parametrov, pridanie nových vlastností a funkcií s prihliadnutím na kvalitnejšiu a odolnejšiu konštrukciu a lepšiu opraviteľnosť výrobku.

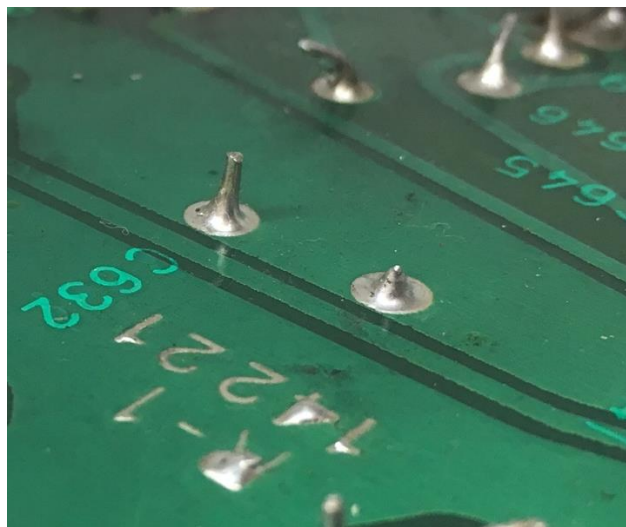
Tieto ciele sa však nedajú dosiahnuť bez oboznámenia sa s problematikou, ktorá spočíva v analýze spájkovaného spoja. Špecifiká pri jeho tvorbe ukážu na kľúčové parametre, ktoré táto stanica musí spĺňať. Teplota pri jeho tvorbe je dôležitá a jej presné udržanie je náročné v akomkoľvek zariadení, profesionálnom či amatérskom.

Ďalší krok bude rozbor bežných riešení takýchto výrobkov. Pri vlastnom návrhu sa musí prihliadať nielen na vyššie zmienené požiadavky, ale aj na ich náročnosť na stratový výkon, ich ovplyvnenie okolia a v neposlednom rade na cenu. Dôležitá je aj ich realizovateľnosť a dostupnosť potrebných komponent. Riešenie by malo pozostávať z digitálneho riadenia, vďaka čomu budú ďalšie dodatočné úpravy jednoduchšie.

V závere by sa mal výrobok riadiť firvérom schopným plne využiť potenciál nového obvodového zapojenia. Oživenie zariadenia musí ukázať, že všetky komponenty fungujú bezchybne a spĺňať požiadavky. Namerané parametre, prehľadne zobrazené v grafoch a tabuľkách, musia aspoň dosahovať k profesionálnym výrobkom a zároveň ich dosiahnuť za nižšiu cenu.

## 2 SPÁJKOVANIE

Spájkovanie je proces, pri ktorom dochádza ku vodivému spojeniu dvoch kovových prvkov zliatinou kovov roztavenou na teplotu tavenia tejto zliatiny. Tento proces v sebe skrýva okrem mechanického procesu aj proces metalurgický. Z mechanického pohľadu je tento proces spájaním materiálov do nerozoberateľného spoja. Z chemického hľadiska ide o proces zmáčania spájaných materiálov zliatinou kovov (ďalej už len spájkou) a následné previazanie týchto kovov so spájkou cez intermetalické zlúčeniny. Pri dodržaní správnych technologických postupov bude tento spoj dobre vodivý a bude vykazovať dobré mechanické aj elektrické vlastnosti. Takýto spoj je na Obr. 2.1. Nesprávnou aplikáciou spájky môže dôjsť k rade porúch čo má za následok zhoršenie vlastností spoja alebo jeho úplná disfunkcia. [1]



*Obr. 2.1: Ukážka ideálneho spájkovaného spoja.*

### 2.1 Spájka

Spájka je materiál zložený zo zliatiny kovov s pomerne vysokým bodom tavenia. Ich zliatina však má bod tavenia o stovky °C nižší. Použité kovy v tejto zliatine a ich pomer určujú charakteristické vlastnosti spájky. Doteraz najbežnejší typ spájky je spájka olovnatá, obsahujúca cín a olovo, vid'. Obr. 2.2. Eutektická olovnatá spájka má pomer kovov 63 % Pb ku 37 % Sn. Názov eutektická vychádza z toho, že daný pomer kovov v zliatine vytvára spájku s najnižšou možnou teplotou tavenia, v tomto prípade 183°C.



Táto spájka je úspešne používaná desaťročia, má známe a veľmi dobré vlastnosti spájkovaného spoja, výbornú zmačavosť a lesk. V poslednom období však je snaha vytlačiť olovo ako také z akéhokoľvek výrobného procesu kvôli jeho toxicite a vplyvu na životné prostredie. Preto sa používanie olovnatej spájky utlmuje legislatívnymi krokmi a na jej miesto sa používajú nové druhy zliatin. [2]



*Obr. 2.2: Porovnanie olovnatej spájky (vľavo) s bezolovnatou spájkou (vpravo). [3]*

Bezolovnaté spájky sú novou alternatívou olovnatých spájk. Technologickým zdokonaľovaním zliatin ale aj výrobných procesov sa ich vlastnosti pomaly približujú vlastnostiam spájk olovnatých, ich použitie si však vyžaduje zložitejšie a energeticky náročnejšie technologické kroky. Základ pre tieto nové zliatiny tvorí opäť cín. K nemu sa však ako náhrada za olovo primiešava meď, ktorá zvyšuje pevnosť spoja, a striebro, ktoré zvyšuje jeho lesk. Táto zmes má však vyššiu teplotu tavenia, obvykle okolo 220°C, v závislosti na pomere kovov. Vyššia teplota sa okrem vyššej energetickej náročnosti na udržiavanie tejto teploty taktiež približuje k hranici toho čo zvládnu súčasné technológie dosiek plošných spojov z organických materiálov a samozrejme aj súčiastok touto spájkou spájkovaných, najmä z plastových materiálov. Nie je to však len samotná vysoká teplota, ktorá spôsobuje nové výzvy vo výrobe. Práca s vyššími teplotami je komplikovaná užším pracovným oknom, t.j. rozsahom teplôt pri ktorom sa vlastnosti spájkovaného spoja výraznejšie nezmenia a spájkovanie prebehne správne. Okrem toho je takáto zliatina kovov silným rozpúšťadlom, nehovoriac o agresívnejších tavidlách nutných k použitiu bezolovnatých spájk. Tieto faktory skracujú životnosť akéhokoľvek materiálu ktorý bežne prichádza do styku s roztavenou spájkou, dochádza k ich abrázii. Aby sa vlastnosti bezolovnatých spájk vyrovnali tým s olovom v kvalitatívnych

merítkach, odporúča sa prevádzkovať spájkovaciu technológiu v ochrannej , napríklad dusíkovej, atmosfére, čo zase predražuje výrobu a zvyšuje energetickú náročnosť. [4]

Celkovo je otázne, či faktor absencie toxického olova vyváži všetku nadbytočnú energiu a náklady ktoré si zavedenie bezolovnatej technológie vyžaduje a či takýto nápor na životné prostredie nie je väčší než by bol s prvkom ktorý sa predsa len musí bežne v prírode vyskytovať, keďže ho z nej ťažíme. Toto však nie je zameranie tejto práce a preto sa bude vychádzať z aktuálnej legislatívy ktorá bezolovnatú spájkku vyžaduje. [5]

### **2.1.1 Správna technika spájkovania**

Správa technika spájkovania závisí na kombinácii niekoľkých faktorov. Správnu kombináciou týchto faktorov sa dá dosiahnuť spoj, ktorý bude mať najlepšie možné vlastnosti. Sú to predovšetkým dobrá elektrická aj tepelná vodivosť, mechanická odolnosť ale aj dobrý vzhľad spoja. Faktory ovplyvňujúce kvalitu spájkovaného spoja sú:

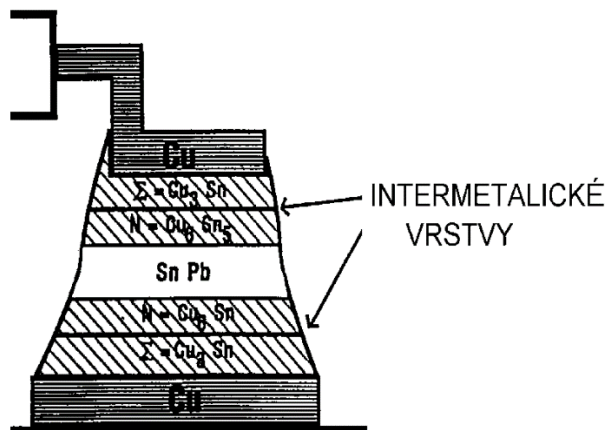
1. Teplota spájky v stave liquidu
2. Čas spájky strávený v stave liquidu
3. Použitie tavidlá a ich účinnosť

Okrem vlastností použitého tavidla, ktoré môže byť súčasťou spájkovacej zliatiny, napr. vo forme trubičkovej spájky záležia zvyšné faktory len na vlastnostiach použitého vybavenia. Preto je nutné si ich dôkladne rozobrať a analyzovať. [2]

#### **2.1.1.1 Teplota spájkovaného spoja**

Teplota spájkovaného spoja počas jeho vytvárania je faktor, ktorý je najnáročnejší na presné riadenie a manažment. Hlavný dôvod je, že pri práci s teplotami v rozmedzí 250 – 450°C potrebujeme teplotu merať s presnosťou na jednotky °C. Samozrejme že okolité prostredie má pri tomto procese izbovú teplotu a vyhrievacie zariadenie musí mať dostatočný výkon na to, aby čas pokiaľ zohreje spájkovaný spoj spolu so spájkou netrval neprakticky dlho. Aby sa spoj dal považovať za úspešne spájkovaný, musí na krátky čas prejsť do plne tekutého stavu (stav liquidu) a zároveň nesmie prekročiť maximálnu povolenú teplotu. Po jej prekročení sa v spoji vytvorí nadmerné množstvo intermetalických zlúčenín, vid'. Obr. 2.3, ktoré zhoršujú vlastnosti spájky, predovšetkým jej vodivosť. [4]

Nie je to však len spájka, ktorý pri nadmerných teplotách trpí. Samotné súčiastky sú veľmi citlivé na vysokú teplotu a jej prekročenie môže negatívne ovplyvniť ich vlastnosti alebo ich poškodiť úplne.



Obr. 2.3: Intermetalické zlúčeniny vzniknuté v spájkovanom spoji SnPb. [4]

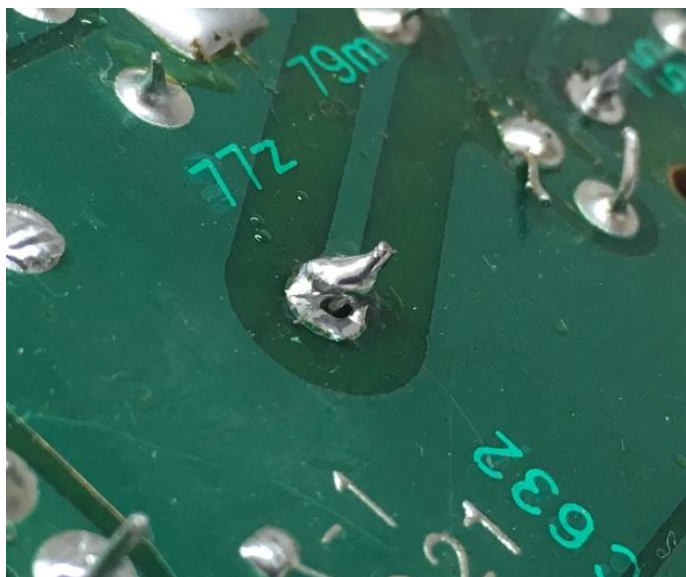
Citlivé sú rezistory, ktorých odpor môže meniť hodnotu, kondenzátory s tekutým elektrolytom, ktorý môže začať vriť a zničiť súčiastku a všetky polovodičové súčiastky. Samozrejme každá plastická hmota ktorá je použitá pri výrobe súčiastky alebo konektoru je citlivá na teplo a je zaručená len jej určitá výdrž, potom sa začne deformovať alebo horieť.



Obr. 2.4: Příklad spáleného spoja a tavidla.

Taktiež substrát, väčšinou z organického materiálu, má svoje limity výdrže vo vysokých teplotách. Prepálené môže taktiež byť aj tavidlo, tento jav je vidieť na Obr. 2.4. [6]

Spájka musí byť samozrejme celá zohriata na teplotu topenia. Nesmie sa zabúdať na nehomogenitu zliatiny a teda ak sa zmeraná teplota rovná teplote pri ktorej sa zlatina začína topiť, neznamená to že je celá prehriata. Jej teplota by mala byť aspoň o 10°C vyššia. Nedostatočne prehriaty spoj má za následok vytvorenie tzv. studeného spoja, jeho príklad je na Obr. 2.5, ktorý má nedostatočnú mechanickú pevnosť, pomerne vysoký odpor a nespoľahlivý kontakt. [4]

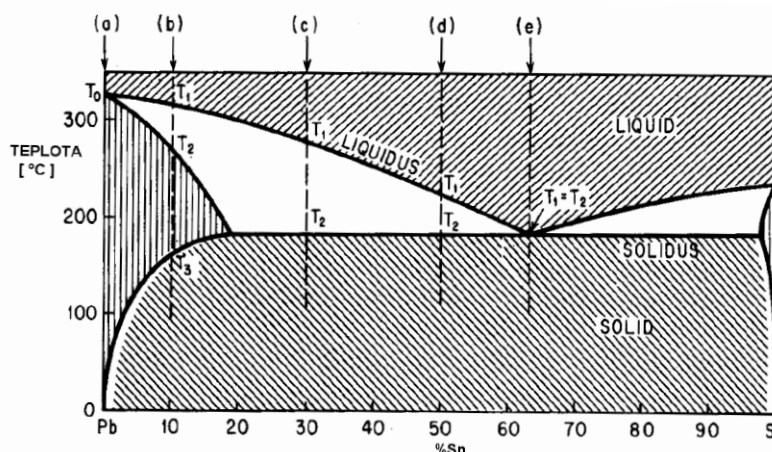


Obr. 2.5: „Studený spoj“.

Podmienky sú prísne, ale neznamená to že správna teplota pri ktorej dosiahneme požadované vlastnosti je len jedna špecifická. Postačuje aj interval teplôt, ktorý nazývame procesné okno. V tomto okne sú zaručené rovnaké vlastnosti. Pre spájku SnPb má toto okno šírku cca. 20°C s maximálnou teplotou 240°C, viz. Obr. 2.6. Udávaná teplota tavenia je 183°C. Pre bezolovnatú spájku SAC305 je technologické okno nielen omnoho užšie, ale pohybuje sa všeobecne vo vyšších teplotách, maximálna teplota je 260°C, čo ja zároveň aj maximálna teplota ktorú zvládnu súčiastky. Teplota tavenia je tiež vyššia, okolo 217°C a hýbe sa v závislosti na pomere prvkov v zliatine. [2]

Práca s nastavovaním teploty na prístrojoch a vybavení ktoré používame však závisí na technológii spájkovania. Každá má svoj špecifický prístup. Ručné spájkovanie pomocou vyhriateho nástroja je najstaršou metódou spájkovania. Zvykom sa stalo, že pokiaľ ručná spájkovačka má nastavenie teploty sa nastavuje teplota zhruba o 80°C vyššia než je teplota tavenia spájky. Pri dodržaní rozumného času spájkovania takto

neprekročíme maximálnu povolenú teplotu spájky ani súčiastok. Pri spájkovaní teplým vzduchom je prístup trochu iný. Teplota vzduchu je riadená mikroprocesorovým systémom s teplotnými čidlami. Preto nie je obmedzenie len na jednu nastaviteľnú teplotu ku ktorej sa dostaneme približne lineárnym zohrievaním, ale môžeme použiť teplotný profil. Ten má definované fázy, s definovanými maximálnymi teplotami, časmi trvania rýchlosťou zmeny teploty za časovú jednotku. [4]



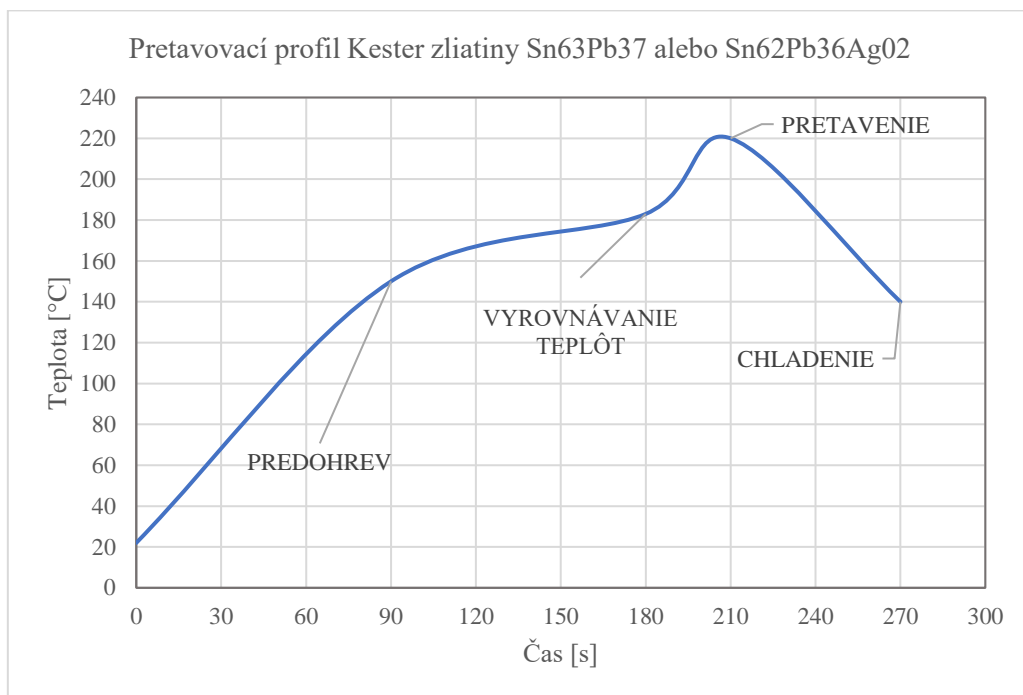
Obr. 2.6: Fázový diagram spájky SnPb. [4]

Prvá časť zohreje celý komplet (dosku plošných spojov, súčiastky a spájkovaciu pastu) na teplotu okolo 120°C až 150°C, zároveň sa odparia všetky rozpúšťadlá na akejkoľvek báze. V ďalšej fáze sa táto teplota udržiava, čím vyrovnajú teploty všetkých komponent s rôznymi teplotnými kapacitami a farbami povrchu, hlavne sa však aktivuje tavidlo, ktoré odstráni z povrchu oxidy a nečistoty. V pretavovacej fáze teplota vystúpi nad teplotu tavenia čím sa spájka rozpustí, zmáča vývody a kontaktné plošky. V poslednej časti sa celý komplet chladí predpísanou rýchlosťou zmeny teploty, aby nedošlo k poškodeniu popraskaním alebo iným. Celý táto postupnosť je vyjadrená v Obr. 2.7. [7]

#### 2.1.1.1 Čas spájkovania

Čas, ktorý spájka strávi v tekutej forme je potrebné striktne dodržať. Dôvodov prečo je niekoľko. Najdôležitejší z nich je oxidácia spájky. Tvorba oxidov zhoršuje schopnosť spájky zmáčať povrch spájkovaných kovov. Pri dobrom zmáčaní spájky vzlína po kovových častiach a snaží sa čo najtesnejšie splynúť s povrchom. Pri tom sa na pomedzí

spájky a vývodov vytvorí tenká prechodová vrstva s chemickými zlúčeninami ktoré spoj previažu a dajú mu typickú pevnosť. Pri zlom zmáčaní alebo odzmáčaní však spájka obteká kovové časti, spolu sa nezlučujú a výsledný spoj po zatuhnutí. Dlhý čas spájkovania rozširuje oblasť intermetalických zlúčenín, ktoré zhoršujú vlastnosti spájkovaného spoja. Okrem toho na prehriatie trpí aj aplikované tavidlo, ktoré je zvyčajne organickou zlúčeninou a môže sa spáliť. [5]

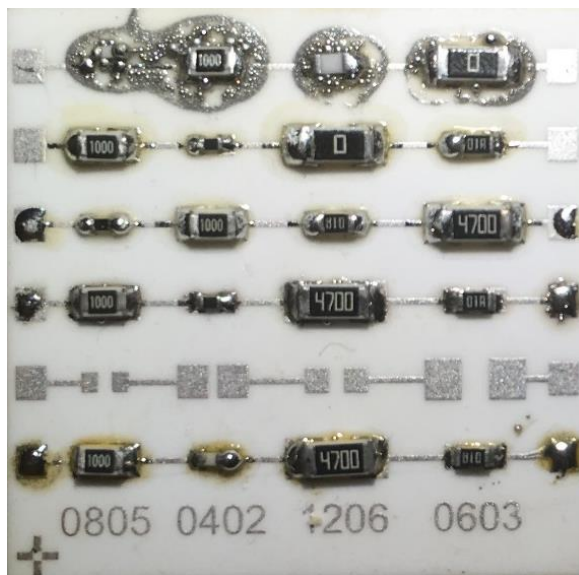


Obr. 2.7: Príklad profilu pretavovacej pece pre olovnatú spájkku Kester. [8]

Ručné spájkovanie vyhriatym nástrojom predstavuje v tomto ohľade najkomplikovanejšiu operáciu. Operátor musí dohliadnuť na to aby čas ktorý strávi spájkovačka v kontakte s rozpustenou spájkou bol meraný a nepresiahol viac než 5 s. Inak by začalo dochádzať ku vyššie spomenutým defektom. Za týmto účelom musí mať nástroj dobre nastavenú teplotu a dostatočný výkon, aby dokázal rýchlo a spoľahlivo zohriať nutný objem spájky a spojovaného materiálu na postačujúcu teplotu. [4]

Spájkovanie teplým vzduchom je operácia programovaná a preto je čas spájky nad liquidom známa veličina ktorá sa dá jednoducho upraviť. Je však potrebné vedieť s akým

druhom spájky pracujeme a aké sú jej parametre. Toto nebolo naschvál dodržané v laboratórnej úlohe v predmete BMTS a následky je vidieť na Obr. 2.8. [2]



*Obr. 2.8: Testovacia doska na overenie vplyvov nesprávne zvoleného teplotného profilu v predmete BMTS.*

### **2.1.2 Prehľad ručného spájkovania**

Spájkovanie má históriu dlhú niekoľko tisíc rokov. Ale až do 19. storočia sa spájkovalo výhradne pomocou nástroja zohrievaného v ohni. Napriek storočiu, ktoré prešlo od vynálezu prvej elektrickej spájkovačky sa princíp jej fungovania vôbec nezmenil. Za ten čas sa však zdokonalila kvalita a presnosť výroby a vynášali sa nové spôsoby ovládania a merania teploty nástroja. Z dnešného pohľadu je táto metóda najpomalšia, pretože vyžaduje ľudskú prácu, ale s dobre vyškolenou obsluhou sa kvalitatívne môže vyrovnáť automatizovanej výrobe. Zároveň je najflexibilnejšia z pohľadu rôzneho tvaru a veľkosti vývodov a samotných súčiastok. To z tohoto prístupu robí v určitých prípadoch jedinou alternatívu. Nehovoriac o tom, že jediný spôsob ako opravovať poruchy spôsobené automatizovanou výrobou je ručné spájkovanie. Tento prístup je taktiež dominantný na amatérskej scéne, malosériovej výrobe a opravách pokazených elektrických a elektronických zariadení. [1][5][9]



Napriek tomu že sú dnes stále dostupné trafospájkovačky, táto technológia je, okrem toho že je najstaršia, aj zastaralá. Operátor pri nej nemá žiadnu kontrolu nad teplotou hrotu a naučiť sa pracovať správne s takýmto nástrojom môže byť zložité. Netreba zabúdať, že takáto pištoľová spájkovačka má vysokú hmotnosť čo zhoršuje manévrovateľnosť, čo je vidieť na Obr. 2.9. Drôt, ktorý je zohrievaný tečúcim prúdom nie je ideálny. Nemá veľmi veľkú teplotnú kapacitu, takže jeho teplota rýchlo kolíše a hrot nemá veľmi špicaté zakončenie čo môže spôsobovať problémy pri spájkovaní menších komponent. [9]



*Obr. 2.9: Príklad pištoľovej trafospájkovy tuzemskej výroby.*

Mikrospájkky a mikrospájkové stanice sú dostupné už od konca 60. rokov minulého storočia. Majú tvar pera lepšie padnucého do ruky než pištoľová trafospájkovačka. Taktiež ich hmotnosť je neporovnateľne nižšia vďaka premiestneniu transformátoru do spájkovacej stanice, vid'. Obr. 2.10, alebo jeho úplným vypustením v lacnejších prevedeniach. Hroty v týchto mikrospájkach sú vyrobené z väčšieho kusu dobre teplotne vodivej medi. Ideálne je aby boli čo najkratšie ale pritom boli čo najhmotnejšie. Dajú sa z pera vytiahnuť alebo inak demontovať a nahradiť ho iným tvarom hrotu alebo hrotom novým. Keďže sa meď časom rozpúšťa v spájke, po niekoľkých použitíach by z hrotu viditeľne ubudlo. Preto sú na povrch hrotu nanesené ochranné vrstvy Ni a Fe, ktoré



predĺžia jeho životnosť. Keď sa mikrospájka nepoužíva, je možné otrieť jeho hrot do navlhčenej hubky alebo kovovej vlny a pero odložiť do držiaku. Lepšie stanice dokážu rozoznať či je pero používané a v opačnom prípade znížiť teplotu hrotu alebo vyhrievanie úplne vypnúť, čím ešte viac predlžujú životnosť hrotov. [4][9]



Obr. 2.10: Moderná spájkovacia stanica PACE. [10]

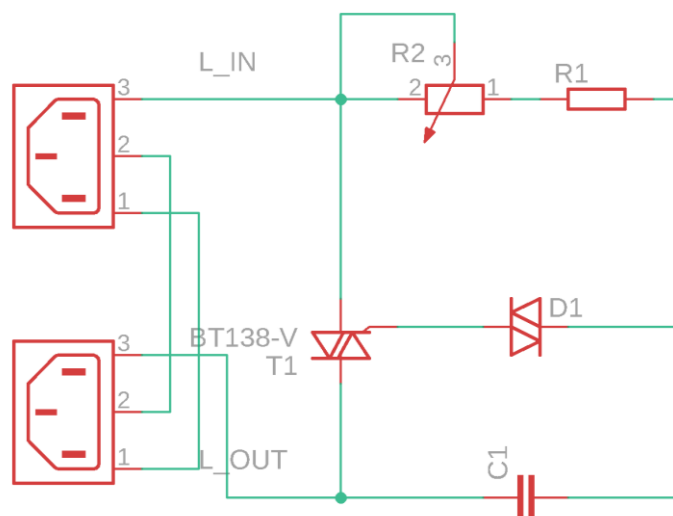
### 2.2.1.1 Regulácia a meranie teploty hrotu

Spôsob regulácie teploty a presnosť jej merania rozdeľuje kvalitné a nekvalitné spájkovacie stanice. Najzákladnejšie prístroje, podobne ako trafospájky nemajú žiadnu reguláciu. Fungujú na princípe sieťového napájania ktoré tečie cez odporový drôt a zohrieva hrot. Všeobecne sa neodporúča používať takýto druh spájkovačky, napriek jej prijateľnej nákupnej cene, pretože trpí rovnakým problémom nedostatočnej regulácie ako pištoľová spájkovačka.

Ďalší spôsob je regulácia triakom bez spätnej väzby. Prúd na sekundárnom vinutí transformátoru je regulovaný polovodičovou súčiastkou, ktorá sa nazýva triak. Triak dokáže otvárať kanál medzi dvoma elektródami prúdom tečúcim do gate-u. Kanál sa zatvorí až do gate-u netečie prúd a na elektródach klesne napätie pod určitú úroveň. Prúd do gate-u je ovládaný diakom, čo je súčiastka cez ktorú začne tiecť prúd až napätie presiahne určitú hranicu. Toto napätie sa dosahuje na kondenzátore, pričom rýchlosť

ktorou sa nabíja na požadované napätie je riadená potenciometrom a predradeným odporom. Možné zapojenie je na Obr. 2.11.

Kľúčové v tomto zapojení je to, že systém nemá spätnú väzbu, teda nevie aká teplota je na hrote mikros pájky. Vieme iba zhruba určiť aký podiel výkonu ho zohrieva. V takom prípade sa musí experimentálne merať teplota hrotu a ciachovať stupnicu na dráhe potenciometru aby zhruba odpovedala teplote hrotu. Toto riešenie sa neodporúča do profesionálnych staníc, maximálne sa dá použiť do najlacnejších prístrojov pre nenáročných alebo občasných užívateľov.

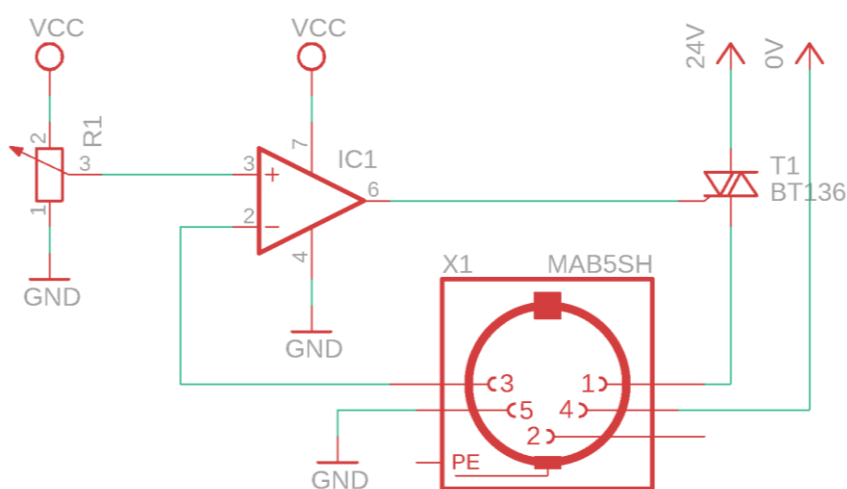


Obr. 2.11: Príklad triakovej regulácie sieťového napätia bez spätnej väzby. [11]

Prvým systémom využívajúcim spätnú väzbu je systém s integrovaným termočlánkom. Tento sa dokáže uregulovať a udržať na povrchu hrotu približne konštantnú teplotu s rozmedzí jednotiek °C. Aj keď sa dnes do mikros pájok s takýmto systémom integruje mikroprocesorové riadenie, pôvodne táto aplikácia fungovala bez nej. Stále sa na spínanie prúdu používa triak, no na rozdiel od predchádzajúceho zapojenia sa teplota nenastavuje len odhadom. Podľa teploty na hrote sa na termočlánku generuje napätie. To je snímané komparátorom, čo je špeciálne zapojenie operačného zosilňovača, ktoré porovnáva napätie na termočlánku s referenčným napätím, ktoré meníme potenciometrom na požadovanú teplotu. Ak je napätie z termočlánku nižšie ako referenčné, komparátor zopne triak ktorý zopne vyhrievanie. Keď teplota spolu s napätím prekročí nastavenú teplotu, komparátor triak vypne. Keďže pracujeme so sekundárnym vinutím na transformátore, ktoré vyhrieva hrot, kanál na triaku sa uzavrie, keď okamžitá

hodnota striedavého napätia bude prechádzať nulou, príklad zapojenia na Obr. 2.12. Presnosť tohto riadenia závisí na umiestnení termočlánku v spájkovacom hrote. Čím bližšie ku špičke hrotu je integrovaný, tým rýchlejšie zachytí zmenu teploty na hrote.

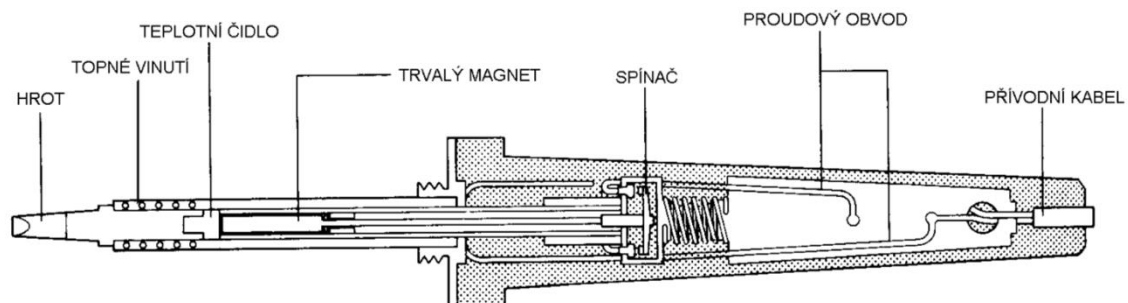
Pridanie mikroprocesorového riadenia vedie k ešte lepšej stabilizácii teploty na hrote. Použitím PWM regulácie môžeme rozšíriť úrovne regulácie výkonu na hrote a presnejšie definovať jeho reálnu teplotu. Možnou modifikáciou je systém „sensatemp“, ktorý porovnáva teplotu na časti puzdra s teplotou na hrote. [5]



Obr. 2.12: Príklad zapojenia vyhrievania hrotu s komparátorom. [12]

Technologicky najkomplikovanejším riešením riadenia teploty je určite systém s fixnou pracovnou teplotou. Tento systém využíva magnetické stavy látok a Curieho bod. V spájkovacom pere je umiestnený permanentný magnet mechanicky spojený s kotvou spínaču. Proti magnetu je umiestnené čidlo vyrobené z feromagnetickkej látky. V pokojovom stave sa magnet pritiahne k čidlu a zopne spínač. Keď teplota hrotu (a čidla) dosiahne Curieho bod pre dané konkrétne feromagnetikum, stane sa z neho paramagnetikum a magnet prestane byť priťahovaný k čidlu, spínač rozopne. Po vychladnutí pod Curieho bod sa čidlo vráti do feromagnetického stavu a proces sa začne nanovo. Takéto mikros pájky nepotrebujú externé riadenie teploty. V reze je toto pero na Obr. 2.13.

Teplota hrotu závisí na vymeniteľnom hrote a je vopred výrobcom nastavená podľa druhu použitého feromagnetika. Aj keď zariadenie vypadá dômyselne, prakticky sa bežne nepoužíva. [4]



*Obr. 2.13: Systém vyhrievania s fixnou pracovnou teplotou. [4]*

### 3 VLASTNÉ RIEŠENIE PROBLÉMU

Vlastné riešenie vychádza zo zhrnutých poznatkov ktoré boli načerpané z knižných prameňov ale aj internetových zdrojov. Obsahovali nielen faktické poznámky k teórii spájkovaného spoja ručným spájkovaním ako aj teóriu ku technike spájkovania pretavením spájkovacej pasty. Okrem teoretickej stránky všetkých poznatkov obsahuje aj časť praktickú kde sú obsiahnuté už zhotovené spájkovacie stanice, ich konkrétne obvody ale aj funkčné prvky. Zároveň sú k dispozícii aj poznámky autorov k ich dielam s poznatkami o tom prečo pri návrhu postupovali tak, ako postupovali a čomu by sa pri opätovnom návrhu vyvarovali.

Ako prvý krok sa muselo určiť čím, akými prostriedkami, docielime toho aby táto stanica spĺňala určené požiadavky. Ako smerodajný bod slúži stanica, na ktorej základoch budeme budovať naše vlastné riešenie. Táto stanica, ako je vidieť na obrázkoch 3.1 a 3.2, neobsahovala okrem obalu z ohýbaného plechu, toroidného transformátoru, filtru vzduchu a pumpu/vývevu žiadne ďalšie zariadenia.



*Obr. 3.1: Spájkovacia stanica v súčasnom stave.*

Vlastnosti týchto prvkov určia ktorým smerom sa v ich dopĺňaní budeme uberať. Maximálny prúd transformátorom určuje maximálny výkon výhrevného telesa v rúčke mikros pájky, počet a rozmiestnenie ovládacích prvkov na čele prístroja budú určovať

spôsob ovládania celého zariadenia. Nástroj, ktorý v sebe kombinuje zdroj teplého vzduchu nebudeme vymieňať, našou úlohou bude zabezpečiť jeho pohodlnú obsluhu, prípadne ho doplniť o novú funkcionality, čím zvýšime jeho užitočnosť.



*Obr. 3.2: Súčasný stav spájkovacej stanice, zvnútra, pohľad sprava.*

Na začiatok si musíme jasne vytýčiť čoho by mal náš výrobok byť schopný. Celý systém by mal byť ovládaný mikrokontrolérom. Zvolením správneho typu mikrokontroléru nebudeme obmedzený jeho vlastnosťami. Najjednoduchšie riešenie, ktoré sa naskytuje je použiť platformu Arduino. Táto vývojová doska v sebe obsahuje okrem procesoru ATmega 328P, USB programátor, kryštálový oscilátor a regulátor napájacieho napätia. K tomu je táto platforma veľmi rozšírená, riešenia na prakticky každý problém sú dostupné na internete a vývojové prostredie kompatibilné so štandardom obsahuje knižnice na ovládanie bežných periférií, čím sa zjednodušuje vývoj firmvéru.

Ďalšou úlohou je vybrať spájkovacie pero a odsávačku. Spájkovacia stanica ktorú upravujeme síce má spájkovacie pero značky Solomon, ale toto pero je hrubé, reps. bolo

by lepšie použiť pero tenšie, ideálne aj od renomovaného výrobcu. Zvoleným perom bolo nakoniec pero Weller WH40 s príkonom 40W, vid'. Obr. 3.3.



*Obr. 3.3: Spájkovacie pero Weller WH40. [13]*

Spĺňa všetky parametre ktoré boli vytýčené. Zároveň príkon 40W dokážeme maximálne využiť s toroidným transformátorom, ktorý je súčasťou starého zapojenia a budeme ho používať. Odsávačka spájky značky Solder Peak, vid' Obr. 3.4, bude taktiež pridaná do opravárenskej stanice, je to samozrejماً súčasť každej takejto stanice.



*Obr. 3.4: Odsávačka cínu Solder Peak používaná v laboratóriu SC2.83 na FEKT VUT. [14]*

Vývoj tejto stanice je uľahčený tým, že už obsahuje teplovzdušnú pištoľ, ktorá bude v novom návrhu zachovaná. Pohon vzduchu pre odsávačku a teplovzdušnú pištoľ bude zabezpečovať pumpa/výveva ktorá je už súčasťou zariadenia. [13][14]

Najdôležitejšia časť celého návrhu je však obvodové zapojenie. Nové zapojenie prístroja bude ideovo vychádzať zo zapojení ktoré použili amatérsky užívatelia. Základné

body okolo ktorých budeme skladat' dohromady stanicu sú: napájanie zo sieťového napätia, mikroprocesorové riadenie, pumpa/výveva a ovládacie prvky. Transformátor je napájaný zo sieťového konektora s integrovanou poistkou. Na jeho druhej strane je sekundárne vinutie, má napätie 24V. Toto napätie bude použité na vyhrievanie všetkých nástrojov a pohon pneumatiky, okrem toho bude znížené na úroveň 5 V regulátorom 7805 a vyhladené filtračnými kondenzátormi. Takto sa bude napájať riadiaca elektronika. Mikrokontrolér bude pripojený ku viacerým perifériám. Najzákladnejšími budú displej a iné ovládacie prvky, LED diódy, signalizačný reproduktor a gate-y triakov. Každý triak bude ovládať vyhrievanie konkrétneho nástroja. Kvôli zabezpečeniu vývodov mikrokontroléru budú galvanicky izolované pomocou optočlenu. Optočlen je LED dióda uzavretá v nepriesvitnom balení, ktorá svieti na bázu bipolárneho tranzistoru a tým ho otvára. O konverziu napätia na termočlánku sa bude starať A/D prevodník, ktorý je integrovaný do čipu ATmega 328p, ktorý je na vývojovej doske Arduino. Má 10 bitové rozlíšenie čo postačuje pre našu aplikáciu.

Existovala by možnosť použitia unipolárneho tranzistoru na ovládanie výkonu nástrojov. Napätie vychádzajúce zo sekundárneho vinutia transformátoru by muselo byť dvojcestne usmernené, preto že unipolárne tranzistory v sebe obsahujú parazitnú diódu. Unipolárny tranzistor dáva možnosť ovládať otváranie kanálu plynulo, čo by veľmi spresnilo citlivosť regulácie. V takom prípade by sa však výkon, ktorý by neprešiel do nástroja, musel vyžiarit' na chladiči unipolárneho tranzistoru, čo by robilo zapojenie veľmi neefektívnym.

### **3.1 Firmvér**

Firmvér zariadenia sa bude starať o pohodlné užívanie prístroja ale aj o bezpečnú prevádzku. Systém menu zabezpečí prehľadný pohyb a voľbu funkcií. Na ovládanie systému bude použitý otočný enkodér s tlačidlom. Aj keď použitý displej je primárne alfanumerický, je možné do neho nahrat' vlastné špeciálne znaky. Toho by sa dalo využiť napríklad pri zobrazovaní teplotných profilov pri pretavovaní spájky. Zároveň by bolo možné analógovým spôsobom zobrazit' teplotu nástrojov. Softvér zároveň z dôvodu ochrany nástrojov bude sledovať či čiastkové procesy ktoré ovládajú spínanie výkonových častí fungujú správne a nezacyklili sa v nekonečnej slučke. Každý proces bude musieť periodicky hlásiť „strážnemu psovi“, súčasti mikrokontroléru, či funguje.



V opačnom prípade nastane reštart celého systému, čím sa predíde prípadu že by sa vyhrievanie nikdy nevyplo a došlo by ku zničeniu nástroja. Firmvér by taktiež využíval vstavaný akustický hlásič, ktorý by rôznou kombináciou tónov mohol upozorniť užívateľa na zmenu stavu nástroja ktorý práve používa. Ďalšie možné rozšírenie by bola možnosť pripojiť stanicu k počítaču a ovládať ju cez riadiaci program. Okrem toho by sa cez toto rozhranie dalo do stanice nahrávať vlastné teplotné profily pre pretavovanie spájkovacej pasty a samozrejme aj prípadné opravy v systéme alebo krivky korekcie nelinearity pre termočlánky použité na meranie teploty hrotov nástrojov.

### 3.2 Ovládacie prvky

Nakoľko je obmedzené množstvom ovládacích prvkov, ovládanie prístroja bude musieť prebiehať spôsob pohybu v hierarchii menu. Zároveň však na prístroji je viacero otáčacích gombíkov, vid'. Obr. 3.5, pričom na pohyb v menu by nám stačil jeden s funkciou enkodéru s tlačidlom. Preto by zostávajúce otáčacie prvky mohli byť použité na ovládanie funkcií, ktoré by boli príliš časovo náročné na ovládanie presúvaním sa v menu (teplota hrotu, tlak teplého vzduchu apod.). Na prednom paneli sa okrem gombíkov nachádzajú aj membránové tlačidlá vyrobených technikou laminovaného papiera slúžiaceho ako miesto pre popis funkcie ovládacích prvkov.

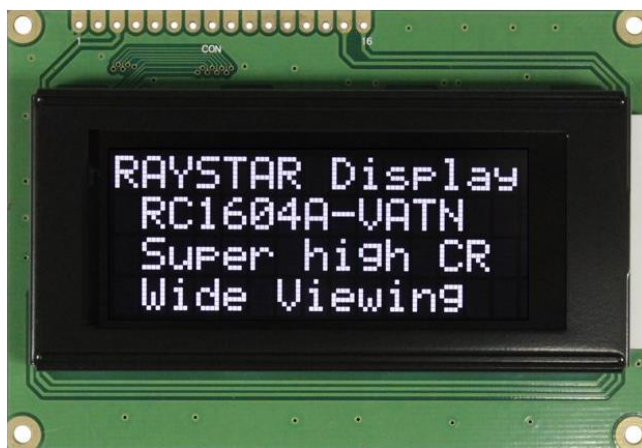


Obr. 3.5: Súčasný stav čelného panelu.

Tieto tlačidlá by sa využívali na zapínanie a vypínanie jednotlivých nástrojov. Ku každému tlačidlu pripadá ešte LED indikačná dióda. V mojom riešení by boli použité červeno-zelené indikátory, ktoré by signalizovali stav každého nástroja. Červená farba pre stav, nástroj sa zohrieva, pracovná teplota nebola dosiahnutá. Zelená farba pre stav,

nástroj je pripravený na použitie, má nastavenú teplotu. Vypnuté svetlo by signalizovalo vypnutý prístroj. Prípadne dodatočné indikácie ako blikanie červeným svetlom, čo by znamenalo odpojený nástroj alebo jeho inú chybu. Prípadne aj efekt „dýchania“ zelenou diódou signalizujúci uspanie prístroja. Tento efekt by sa dosiahol PWM reguláciou napájania LED diódy s trojuholníkovou funkciou ako riadiacou premennou pre striedu PWM signálu.

Na čelnom paneli prístroja je výrez pre alfanumerický LCD displej. Tento prvok by bol zachovaný aj v novej konštrukcii. Modifikácia by však spočívala v tom, že výrez by sa vertikálne rozšíril tak, aby sa mohol použiť väčší displej. Pôvodný mal počet znakov 16 na riadok v 2 riadkoch, nahradený by bol displejom so 16x4 s kvalitnejšou technológiou zobrazovania VA, ktorá má lepšie pozorovacie uhly a výrazne lepší kontrast, vid'. Obr. 3.6. Okrem toho tento displej zobrazuje biely text na čiernom pozadí, čo redukuje rušivý vplyv displeja v rámci celého prístroja. Nahradí tak klasické zobrazovanie STN technológiou, ktoré býva zle čitateľné aj pri dobrom osvetlení. Spôsob ovládania nového ako aj starého displeja je však stále rovnaký, osvedčená zbernica kompatibilná s čipom Hitachi HD44780.



*Obr. 3.6: Displej s VA technológiou. [15]*

Samozrejmovou funkciou takejto opravárenskej stanice je predĺženie životnosti zohrievaných nástrojov tým, že počas ich dlhšej nečinnosti nebudú vyhrievané na plnú prevádzkovú teplotu, ale na teplotu temperovacia, prípadne vyhrievanie úplne vypnuté. Táto funkcia bude fungovať na dvoch úrovniach. Prvá bude sledovať len používanie výkonu nástroja, resp. jeho nečinnosť. Ak bude teplota hrotu po určitú dobu konštantná

(povedzme 10 minút) a pritom hrot nestráca svoju teplotu okamžite, znamená to že sa hrot nepoužíva. Druhá je exaktnejšia. Spočíva v sledovaní stavu držiaku na nástroj. Keďže tento držiak je súčasťou obalu prístroja, môžeme do tohto držiaku implementovať elektroniku, ktorá by dokázala detegovať uloženie nástroja v držiaku. Toto zariadenie bude pravdepodobne fungovať na princípe LED diódy svietiacej v infračervenom spektre a fotodiódy. Pokiaľ zdroj aj prijímač svetla budú mať medzi sebou priamu viditeľnosť, znamená to že držiak je prázdny. Pokiaľ sa táto väzba preruší, vieme že v držiaku je nástroj. Po uplynutí času kratšieho než v prvom prípade (napríklad 5 minút) bude nástroj uspaný. Tento systém detekcie je bezdotykový, čo je veľká výhoda. Nesmieme zabúdať, že pracujeme s predmetmi ktoré môžu mať pracovnú teplotu stovky stupňov Celzia. Preto každé riešenie pomocou mikrosvítníka alebo podobne mechanicky skrýva nebezpečenstvo poškodenia vysokou teplotou. Bude však výzva implementovať tento systém do držiaku tak, aby jeho kabeľáž alebo samotné telo súčiastok neprekážalo v bežnom používaní a zároveň aby fungovalo dostatočne spoľahlivo. Každý z oboch spôsobov by viedol k stavu uspania. Ako doplnok praktickosti by sa minútu pred prechodom do úsporného režimu na displeji objavila hláška o tom, že nástroj bude uspaný. Pre návrat do stavu plnej funkcie nástroja je možných niekoľko spôsobov oživenia. Ten jednoduchší je zároveň aj najspoľahlivejší. Stlačením tlačidla prislúchajúcemu konkrétnemu uspanému nástroju ho prebudí a zapne vyhrievanie čím ho dostane do funkčného stavu. Samozrejme ako vylepšenie komfortu by bolo možné prebudiť hrot detekciou náhleho poklesu teploty nástroja. Tento prístup však vyžaduje neustále temperovanie prístroja na určitú nižšiu teplotu, aby sa rozpoznal jej náhly pokles. Správna a spoľahlivá funkčnosť tohoto vylepšenia by sa však musela overiť v praxi. Samozrejme každá z vyššie uvedených funkcií bude nastaviteľná a bude sa dať aktivovať alebo deaktivovať.

## 4 REALIZÁCIA PRÁCE

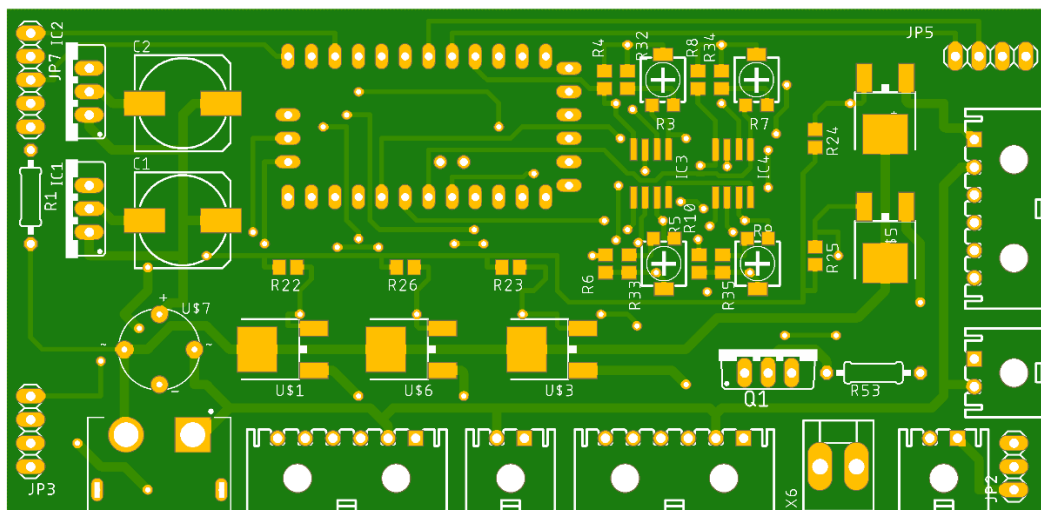
Realizácie práce vychádzala z teoretického návrhu. Okrem toho sa zvažovala aj dostupnosť jednotlivých komponent v bežných obchodoch a ich cena. Výber komponentov zahrňoval ich možnosti a vlastnosti. Kľúčové bolo ich dimenzovanie, ako maximálny kontinuálny a špičkový tok prúdu a maximálny výkon, ktorý súčiastka dokáže odovzdať do okolia. Zároveň sa všetky súčiastky museli voliť s určitou rezervou v kľúčových parametroch, aby pri nepredvídanej situácii neboli zničené. Pamätalo sa na fyzickú veľkosť puzdier súčiastok, pretože výsledná veľkosť dosky plošných spojov s ňou priamo súvisí. Pôvodná ovládacia doska opravárenskej stanice používala výhradne vývodové súčiastky. Toto riešenie poskytovalo výhodu vyššieho výkonového zaťaženia súčiastky, pretože majú väčšie fyzické rozmery. Pri ich inštalácii však neboli dodržané základné pravidlá pre montáž vývodových súčiastok. Či už neboli súčiastky tesne priložené k DPS, alebo ich vývody nebol skrátene na správnu dĺžku po spájkovaní, ba dokonca boli súčiastky pridávané na vrch už inštalovaných súčiastok. Tento výrobok bol predávaný ako profesionálny výrobok a preto takáto kvalita výsledného obvodu bola neprijateľná.

Boli vybrané obvodové prvky prevažne povrchovej montáže. Jediné výnimky tvorili vývodové rezistory, ktoré budú výkonovo zaťažované nad 1W výkonu. Vývodové prvky sú aj všetky konektory, či už prepojovacie medzi dvomi doskami DPS alebo medzi zariadeniami vnútri výrobku. Súčiastky pre povrchovú montáž svojou malou zástavbovou plochou poskytujú lepšie možnosti využitia plochy DPS. Keďže ich vývody neprechádzajú skrz DPS, môžu byť umiestnené pod seba na dve strany DPS.

### 4.1.1.1 Doska plošných spojov

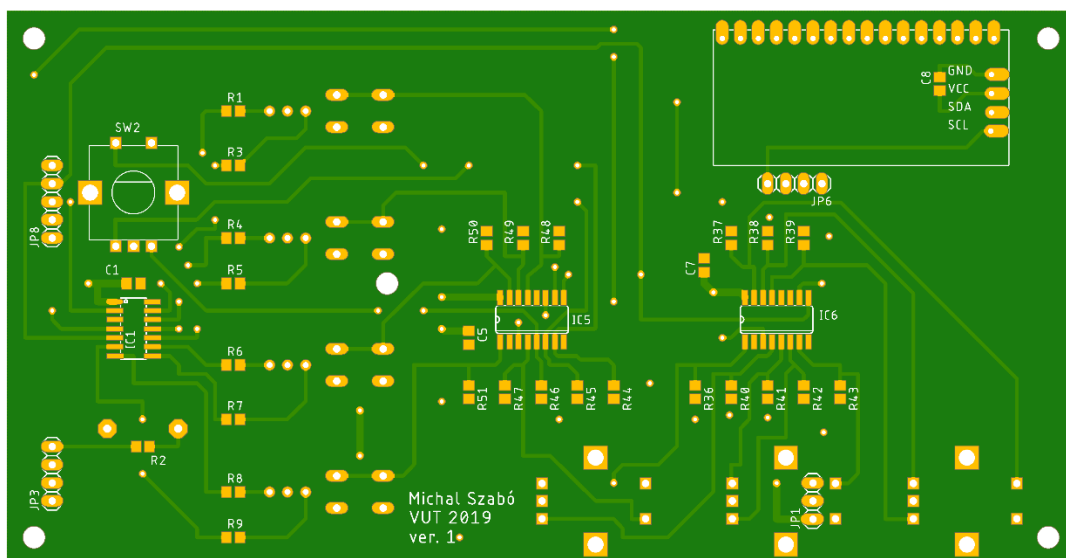
Ovládacia elektronika je rozmiestnená na dvoch DPS. Väčšia z nich pokrýva väčšinu plochy čelného panelu a sú na nej umiestnené ovládacie a indikačné prvky, Obr. 4.1.

Menšia DPS obsahuje mikrokontrolér Arduino, výkonové prvky, obvody snímania teploty termočlánkov a konektory k jednotlivým zariadeniam, Obr. 4.2.



*Obr. 4.1: Model radiacej DPS (pohľad zhora)*

Dosky sú medzi sebou prepojené hrebienkovými konektormi. Dôvodom pre rozdelenie elektroniky na dve obvodové dosky bol v prvom rade nedostatok miesta na doske s veľkosťou čelného panelu. V druhom rade to bola kolízia medzi konektormi a ovládacími enkodérmi.

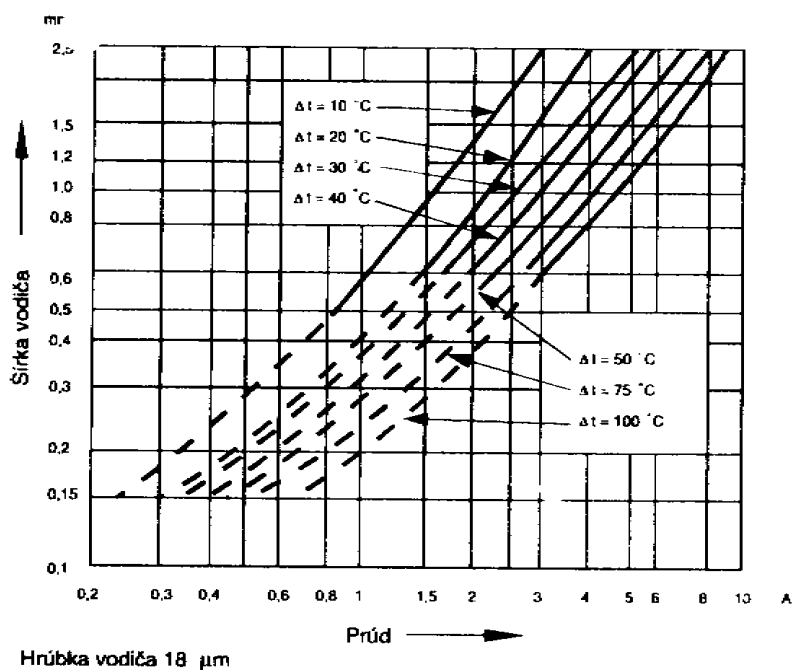


*Obr. 4.2: Model ovládacej DPS (pohľad zdola)*

Zvolené konektory sú pravouhlé a preto ich umiestenie musí byť na kraji DPS. Plánované vyústenie vonkajších konektorov sa predpokladalo pod čelný panel a preto je vhodné aby konektory na strane DPS boli na dolnom okraji. Toto kolidovalo

s rotačnými enkodérmi, pretože rovnako ako konektory, aj oni sú vývodovej technológie a vývody potrebujú miesto na oboch stranách DPS. Menšia doska, ďalej nazývaná riadiaca, má za úlohu vytvárať stabilizovaný zdroj napätia pre riadiacu elektroniku a výkonové prvky. Tieto napájacie vetvy sa tiež prenášajú na väčšiu dosku, ďalej nazývaná ovládacia, cez hrebienkové konektory. Ovládacia doska tiež slúži ako pomôcka pri rozvádzaní napájania na riadiacej doske. Vysoká zástavbová hustota spôsobila, že niektoré časti riadiacej dosky nemajú priame spojenie s napájacím napätím, majú ho však sprostredkované cez riadiacu dosku.

Pri návrhu plošných vodičov bolo potrebné spočítať prúdové zaťaženie vodičov, ktoré budú napájať výkonové prvky. Toto sa počítalo z grafov voľne dostupných na internete, Obr. 4.3.



Obr. 4.3: Graf závislosti prúdovej zaťažiteľnosti plošného vodiča s hrúbkou vodiča 18 μm a rôznymi zmenami teploty vodiča [16]

Zvolila sa tenšia medená fólia s hrúbkou 18 μm a nižšou cenou. Predpokladaný prenášaný výkon bude približne 50W pre jeden nástroj a bude sa približovať 100W pri kombinácii viacerých nástrojov súčasne. Výpočet 4.1 ukazuje, že prúd vodičom sa bude pohybovať medzi 2 – 4A. Ďalším krokom bolo vybrať si akému veľkému teplotnému zaťaženiu môžeme vodiče vystaviť. Nesmie sa zabudnúť na to, že týmito

vodičmi nebude prúd počítanej veľkosti tiecť kontinuálne. V prípade, kedy bude nástroj zohriaty a nebude sa používať bude jeho spotreba minimálna. [16]

$$\begin{aligned}
 U &= 24V & P &= U * I \\
 & & I &= \frac{P}{U} \\
 P &= 50W & I &= \frac{50}{24} = 2,083A \\
 P &= 100W & I &= \frac{100}{24} = 4,167A
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Ako kompromis medzi neprakticky veľkými vodičmi a ich veľkému tepelnému namáhaniu sa zvolila hrúbka cesty 1mm. Pri prevádzke jedného nástroja nebude jeho zohrievanie badateľné a pri viacerých súčasne by jeho rozdiel teploty voči okoliu nemal presiahnuť 50°C. [16]

Dosky plošných spojov boli vyrobené firmou Gatema sídliacou v okolí Brna. Ich pool-servis umožňuje kusovú výrobu DPS vlastného návrhu za pomerne nízke ceny. Rozloženie do panelu, ktorý ide do výroby vykonáva zamestnanec firmy, čo umožňuje nižšie výrobné náklady na výrobu DPS len v kusových sériách. [17]

## 4.2 Konektory

Pôvodne sa uvažovalo o konektoroch, ktoré by boli navzájom nezameniteľné, aby aj neškolený personál, ktorý by vykonával servis zariadenia nemohol náhodou zameniť jednotlivé konektory. Aj keď je to myslenie správnym smerom, zariadenie používa pomerne veľa konektorov a najst' 7 rôznych konektorov by bolo problematické, okrem iného aj esteticky nevábne. Ako prvok limitujúci omyl pri zapojení konektorov bola nakoniec zvolená poloha vonkajšieho konektora a dĺžka prírodných vodičov. Ako jednotný konektor sa zvolil Micro-Fit 3.0 od firmy Molex, Obr. 4.4, čo je svetový líder v oblasti konektorov a podobných priemyselných aplikácií. Vybrané konektory sú vybavené zámkom proti vytiahnutiu dlhodobým namáhaním a sú nesymetrické, takže sa nedajú zapojiť obrátene. Jedinou výnimkou tvorí pripojenie externého termočlánku K, ktorý nevyžaduje konektor s možnosťou

tak vysokého prúdového zaťaženia. V tomto prípade je použitý bežnejší dvojvodičový konektor od firmy Molex. [18]



*Obr. 4.4: Konektor Micro-Fit 3.0 od firmy Molex [18]*

## 4.3 Komponenty

### 4.3.1 Mikrokontrolér

Najdôležitejšou súčiastkou je nesporne mikrokontrolér. Základom pre tento výrobok sa stal mikrokontrolér Arduino Pro Mini, Obr. 4.5.



*Obr. 4.5: Vývojová doska Arduino Pro Mini [19]*

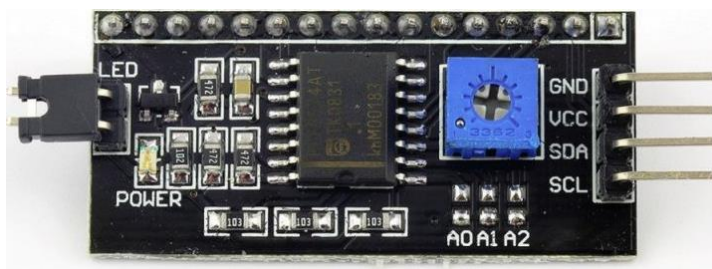
Bol vybraný ako dobre etablovaná platforma so živou podpornou komunitou online, ktorá vyriešila prakticky každý problém, ktorý by mohol užívateľ mať. Táto verzia Arduina je na malej doske veľkosti 33 x 18 mm so 14 digitálnymi a 8 analógovými pinmi, ktoré sú konfigurovateľné na rôzne funkcie. Na rozdiel od bežného Arduina tento model neobsahuje USB rozhranie a vstavaný ISP programátor. Miesto toho má čip vyvedené piny pre priame pripojenie externého programátora. Vďaka tomu je celá doska menšia a plocha, ktorú potrebuje programátor sa môže distribuovať na iné miesto v skriní výrobku. Arduino v tejto aplikácii funguje nielen ako ovládač všetkých vnútorných procesov, riadenia výkonu do jednotlivých nástrojov, ale aj ako A/D prevodník signálov o teplote nástrojov pre spätnú väzbu



riadenia. V neposlednom rade Arduino komunikuje so sériovo-paralelnými prevodníkmi a druhým mikrokontrolérom na doske ovládacích prvkov. [19]

### 4.3.2 Periférie

Už od začiatku, pri prvom plánovaní návrhu, bolo jasné, že počet periférnych pinov na mikrokontroléri Arduino nebude stačiť na pokrytie všetkých vstupných a výstupných zariadení. Museli sa zvoliť prioritné a menej dôležité súčasti, ktoré mali byť pripojené ku mikrokontroléru. Menej prioritné súčasti sa môžu ovládať sprostredkované, napr. cez nejaký druh sériovo paralelného prevodníku. Prioritu dostali všetky výkonové zariadenia, tým dosiahneme najvyššiu spoľahlivosť pri ich riadení. Kvôli zníženiu počtu integrovaných obvodov sa použil A/D prevodník integrovaný v Arduine. Jeho 10-bitové rozlíšenie v kombinácii s operačnými zosilňovačmi postačuje na našu aplikáciu. Taktiež tieto signály musia byť pripojené k Arduinu priamo. Signifikantné zníženie počtu komunikačných vodičov, zo 16 na 2, dosiahneme pripojením zobrazovacieho displeja cez rozhranie I<sup>2</sup>C. Komunikáciu zabezpečuje čip PCF8574P a je integrovaný na module kúpenom ako celok, ktorý riadi okrem obsahu zobrazenom na displeji aj jeho jas a kontrast, Obr. 4.6. Komunikácia I<sup>2</sup>C prebieha na dvoch vodičoch, jeden hodinový a druhý na samotný prenos dát. [20]



*Obr. 4.6: Komunikačný modul protokolu I<sup>2</sup>C medzi LCD displejom a  $\mu$ C [20]*

Rovnaká redukcia sa dosiahla použitím integrovaného obvodu 4021 na prenášanie informácií o ovládacích prvkoch, t.j. rotačných enkodéroch s integrovanými tlačidlami a diskretnými tlačidlami. Integrovaný obvod 4021 je sériovo-paralelný prevodník s tromi komunikačnými vodičmi a schopnosťou navzájom sa reťaziť. V tejto aplikácii je použitá dvojica týchto obvodov a vďaka možnosti reťazenia stále používajú 3 vodiče na prenos dát. Okrem hodinového a dátového toku tieto

integrované obvody potrebujú aj tretí vodič s názvom Latch. Ten je generovaný miktokontrolérom a dáva prevodníkom signál, aby uložili stav na paralelných vstupoch do registrov a pri nábehu hodinovej hrany začali posúvať dáta von. Jednotlivé prevodníky medzi sebou komunikujú malou zbernicou tak, aby presun dát medzi nimi bol z vonku nepozorovateľný. [21]

Systém spínania výkonových častí bol navrhnutý tak, ako bolo predstavené v teoretickej časti. Arduino pomocou optočlenu spína triak, ktorý otvára alebo zatvára kanál striedavého napätia. Optočlen 4N27 bol vybraný pre jeho všestrannosť použitia, analógové aj digitálne, a zároveň pre dostatočný prúd tranzistorom bez nutnosti dodatočne nastavovať pracovný bod (prúd do báze). Triak BTA208S je súčiastka predávaná v puzdre DPAK. Toto puzdro má vďaka povrchovej montáži menšie nároky na zástavbovú plochu na DPS aj v jej priestore. Zároveň nepotrebuje pri svojej prevádzke chladič, pretože odvod odpadového tepla zabezpečuje samotná DPS, ku ktorej je vodivo spojená spájkovaným spojom. [22] [23]

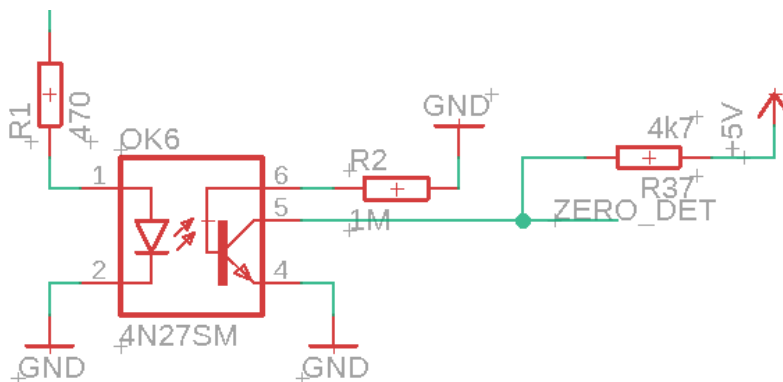
### 4.3.3 Ovládanie

Ovládacie prvky na DPS boli rozmiestnené s ohľadom na možnosť budúcich dodatočných vylepšení. Dominantou časťou celého ovládacieho panelu je displej. Keďže väčšina populácie má dominantnú pravú ruku, je displej umiestnený vľavo, aby ho užívateľ neprekryval pri manipulácii rukou. Napravo od displeja je umiestnený hlavný ovládací enkodér. Ním sa vykonávajú najzložitejšie ovládacie úkony, ako je pohyb v menu alebo zadávanie nastavení. Pod displejom sú umiestnené ďalšie tri enkodéry. Tieto slúžia na dostavenie aktuálnych parametrov, zároveň je ich funkcia pre každý nástroj premenlivá. V prípade mikropsájkky je to samozrejme teplota hrotu, ale aj čas do uspania pri nečinnosti. V prípade teplovzdušnej pištole je to rýchlosť prúdiaceho vzduchu, jeho teplota a podobne. Všetky enkodéry obsahujú vstavané tlačidlo. Pre hlavný enkodér slúži na potvrdenie výberu, pre ostatné na výber medzi hrubým a jemným krokom nastavenia. Rozdiel medzi nimi signalizuje popisný text na poslednom riadku na displeji. Ak sú jeho farby invertované voči normálu, nastavenie prebieha v jemnom režime. Napravo od displeja sa nachádzajú 4 tlačidlá s príslušnými LED diódami. Každé z tlačidiel zapína, resp. vypína, príslušný nástroj, na čo reaguje indikačná dióda tak, ako to bolo predložené v pôvodnom návrhu. Žiadne

svetlo znamená vypnutý nástroj, červené kontinuálne svetlo znamená zohrievanie nástroja, zelené kontinuálne svetlo znamená pripravenosť nástroja. Blikajúce červené svetlo znamená chybu nástroja, jeho nedokonalý kontakt alebo jeho teplotu mimo rozsahu. Rozsvecujúce a zhasňajúce sa zelené svetlo znamená uspanie nástroja. Jeho prebudenie sa dosiahne buď jeho opätovným použitím (mikrospájka alebo odsávačka) alebo stlačením príslušného tlačidla.

#### 4.3.4 Zmeny

Novinkou v návrhu je detektor prechodu fázy nulou, Obr. 4.7. Tento detektor signalizuje mikrokontroléru kedy má striedavý prúd okamžitú hodnotu nula. Informácia je použitá na presné spínanie výkonových komponent. Pri temperovacej teplote bude riadiaci softvér dohliadať na to, aby zopnutia na jednu polvlnu neprebíhali pre všetky pripojené spotrebiče naraz, ale aby sa striedali. Vyváženým zapínaním jednotlivých spotrebičov sa predíde preťažovaniu výkonových komponent čo zvýši ich životnosť.[24]



Obr. 4.7: Detektor prechodu fázy nulou

Zmenou od pôvodného návrhu je použitie iného spájkovacieho pera. Po viacerých pokusoch zistiť, ako spájkovacie pero Weller dáva riadiacemu systému informáciu o teplote hrotu, sa zistilo, že systém používa komplikovanejší princíp akým je separátny termočlánok. Komplikovanejší systém nie je jednoducho integrovateľný do navrhnutého systému a preto sa zvolilo jednoduchšie riešenie. Namiesto toho sa použilo spájkovacie pero, ktoré je neznačkovým klonom hrotu od firmy Hakko, Obr. 4.8. Napriek tomu, že tento hrot stál v prepočte menej než 100Kč vrátane dopravy, vyznačuje sa prijateľnou kvalitou za dobrú cenu, napriek tomu že to nie je originálny

výrobok. To svedčí o jeho dobrom návrhu. Tento hrot využíva päť kolíkový vývod s oddelenými vývodmi pre topnú špirálu a termočlánok. Posledný vývod je použitý na uzemnenie všetkých odhalených kovových častí hrotu. Toto je výhodné pri ESD citlivých aplikáciách. Použitie bežného druhu hrotu prispieva k možnostiam budúceho rozšírenia a vylepšenia výrobku. Kompatibilita s hrotmi Hakko umožňuje použitie zaručene kvalitného hrotu priamo od originálneho výrobcu alebo značiek kompatibilných. [25]



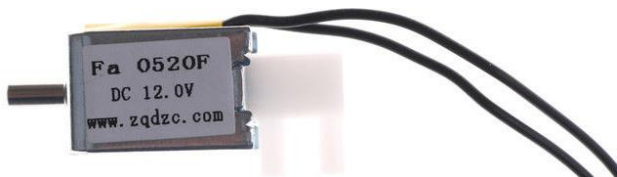
*Obr. 4.8: Spájkovacie pero dizajnu Hakko [25]*

Treba priznať, že pri pôvodnom návrhu sa nepamätalo na signalizačné LED umiestnené na ovládacej doske. Tesne pred finálnym návrhom sa zistila ich absencia a vznikol veľký problém. Väčšina riadiacej dosky už bola navrhnutá a nebol priestor na nových 8 vodičov, miesto na ne nebolo ani na samotnom mikrokontrolére a nebolo ani miesto na rozširovanie hrebienkových konektorov prepájajúcich jednotlivé dosky. Bolo nutné nájsť inžinierske riešenie, ktoré by sa dalo integrovať do už takmer hotového riešenia. Riadenie LED nespočívalo len v ich rozsvetovaní a zhášaní, ale aj ich blikaní a dokonca PWM regulácií. Toto požaduje inteligentné riadenie s riadiacim programom, teda mikrokontrolér. Takýto mikrokontrolér by sa umiestnil na ovládaciu dosku priamo ku LED diódam. Ďalším problémom bolo umožniť komunikáciu medzi dvoma mikrokontrolérmi, len Arduino ako primárny mikrokontrolér vie kedy a ako majú LED diódy svietiť. Na nový konektor nie je miesto, musí sa použiť niektorý z existujúcich. Komunikácia medzi sériovo-paralelnými prevodníkmi je aktívna len vtedy, keď je aktívny Latch pin, ale v opačnom prípade je celá zbernica nevyužitá.

Toto je čas, kedy môže prebiehať komunikácia medzi mikrokontrolérmi. Ako sekundárny mikrokontrolér bol vybraný AVR kompatibilný ATtiny 84 pre jeho vhodný počet pinov a dobrú kompatibilitu a podporu programovacieho prostredia Arduino IDE. Počítalo sa s tým, že tento mikrokontrolérom by sa programoval už prispájkovaný ku ovládacej doske priamo Arduinom na riadiacej doske v jeho móde ArduinoISP. Nanešťastie programovanie ATtiny si vyžadovalo viac voľných pinov, ktoré sa už nedali poskytnúť. Preto sa na ovládaciu dosku prispájkuje už vopred naprogramovaný mikrokontrolér. [21][26]

Jedna z posledných dodatočných úprav dizajnu spočívala v pridaní solenoidového ventilu, Obr. 4.9. V pôvodnom prístroji sa výveva používala ako vákuová pipeta. Teplovzdušná pištoľ sa totiž rýchlou úpravou dá modifikovať na takúto pipetu. Nový prístroj v pôvodnom návrhu s vákuovou pipetou nepočítal, pretože výveva mala byť použitá na pohon odsávačky cínu a táto funkcia je častejšie používaná, než by bola používaná vákuová pipeta. Po konzultácii s vedúcim tejto práce sa však rozhodlo, že vypustiť túto funkcie by bolo kontraproduktívne. Navrhlo sa riešenie spočívajúce v elektronicky riadenom ventile. Ten sa skladá z cievky v podobe solenoidu. Tá v kľudovej polohe smeruje prúdiaci vzduch cez jeden výstup a pri priložení napätia na cievku kotva v jej strede presmeruje tok cez druhý výstup. Na dokonalé zopnutie ventilu musí tiecť cievkou prúd aspoň 200mA pri napätí 12V. Zároveň môže byť ventil zopnutý v kontinuálnom režime maximálne 10 sekúnd. Preto bol pre kľudový stav zvolený výstup smerujúci k vákuovej pipete, pretože jej chod by určite trval viac než 10 sekúnd a zopnutý stav bol pridelený odsávačke cínu, ktorej chod trvá bežne menej než 10 sekúnd. Poslednou otázkou bolo riadenie ventilu. Výstup na Arduino nemôže byť zdrojom takého výkonu, okrem toho jeho výstupy pracujú na 5V. Po úvahe bol zvolený unipolárny tranzistor IRFZ44N. Gate tohto tranzistoru môže byť spínaný Arduinom, pretože doňho netečie žiaden prúd, je riadený el. poľom. Nezabudlo sa na to, že prúd cez tranzistor sa musí limitovať odporom, ktorý musí byť výkonovo dimenzovaný na takúto aplikáciu. Zvolil sa odpor najväčšej bežnej hodnoty, ktorá prepustí viac než 200mA (hodnota), ale zároveň minimalizuje stratový výkon. Pôvodne bolo zvažované aj relé, ktoré sa v zopnutom stave teplotne nenamáha.

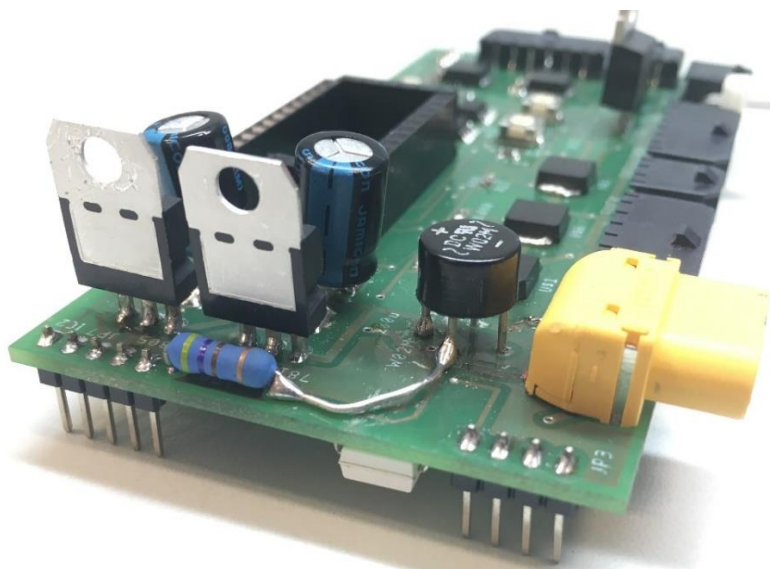
Kvôli jeho veľkým rozmerom, vysokej cene a pomerne vysokému spínaciemu prúdu sa však zvolil tranzistor riadený poľom. [27]



*Obr. 4.9: Solenoidový ventil na 12V DC [27]*

## 4.4 Oživenie

Pri oživovaní DPS sa stala nehoda, ktorá spôsobila poškodenie vodivých ciest na DPS a dočasné znefunkčnenie. Neuvážením sa obvod testoval napájaní z transformátoru v krabici prístroja bez akejkoľvek prúdovej ochrany. Pri meraní napájacích vetiev obvodu sa prekrížili vodivé časti meracích sond, čo spôsobilo skrat, Obr. 4.10. Bez prúdovej ochrany začalo usmerňovacím mostíkom tiecť prúd viac než 12A, čo nielenže prepálilo usmerňovacie diódy do skratu, ale aj odparilo med' vedúcu od konektoru k mostíkovému usmerňovaču.



*Obr. 4.10: Pohľad na opravu po nehode*

Po výmene usmerňovača a náhrade vodivých ciest spojovacími drôťmi sa zistilo, že regulátor 7805 bol taktiež poškodený. Hoci v nezaťaženom stave sa jeho výstupné napätie pohybovalo okolo 5V, pod záťažou rýchlo klesalo. Regulátor bol vymenený a tým sa oživenie napájacích obvodov úspešne dokončilo.

Oživovanie paralelno-sériových prevodníkov prebehlo úspešne bez žiadnych komplikácií. Skript, ktorý je uvedený ako príklad používania tohoto prevodníku s Arduino fungoval a prenášal dáta z oboch prevodníkov sériovou linkou do terminálu na počítači. Podobne jednoduché oživenie však neprebehlo pri pokusoch o komunikáciu s prevodníkom I<sup>2</sup>C a displejom. Po zistení, že sa zvolili nesprávne vývody (2 a 3) na Arduine pre natívnu komunikáciu cez protokol I<sup>2</sup>C (A4 a A5), musela byť zrealizovaná ďalšia dodatočná úprava. Bolo by možné, aby sa softvérovo, pomocou knižníc, na vývovodch, ktoré na to nie sú hardvérovo určené prevádzkoval, samozrejme pomalšou rýchlosťou, I<sup>2</sup>C protokol. Knižnice, ktoré ovládajú komunikáciu medzi Arduino, prevodníkom a displejom očakávajú použitie štandardných vývodov. Museli by sa zlučovať obidve knižnice, čo by bolo náročné, najmä časovo a preto sa namiesto toho zvolilo najjednoduchšie riešenie. Vytvorila sa dutinková prepojka, ktorá spojila správne a nesprávne I<sup>2</sup>C komunikačné piny. Nesprávne zvolené piny sa softvérovo nastavili ako vstup pre signál do mikrokontroléru a tým sa stali vysokou impedanciou a neinterferujú s prebiehajúcou komunikáciou, čo bolo potvrdené aj meraním osciloskopom, Obr. 4.11. [19]

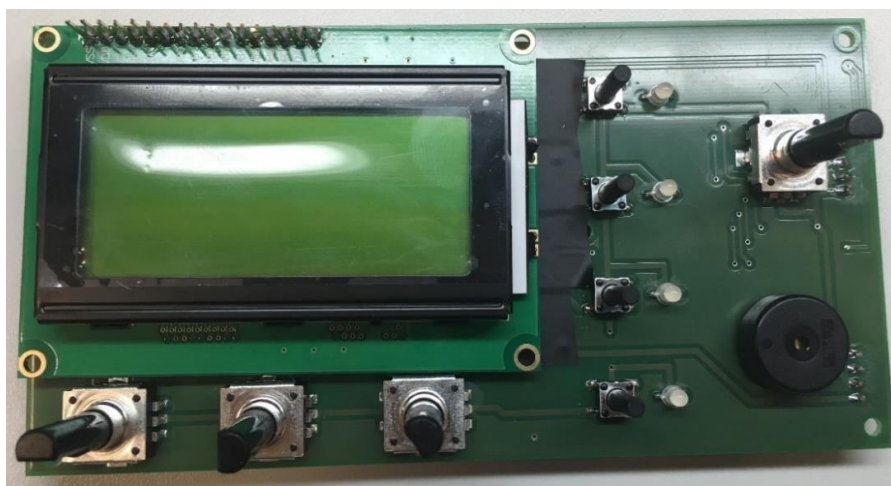


Obr. 4.11: Snímka z osciloskopu a toku dát do prevodníku pre displej

Vyriešenie tohto problému zdanlivo umožnilo plné oživenie displeja, opak bol však pravdou. Po pripojení displeja a zapnutí napájania zareagovala prúdová ochrana, ktorá obmedzila veľkosť pretekajúceho prúdu. Očakávalo sa, že displej môže mať vyššiu spotrebu, než bola dovtedy najvyššia nameraná, preto sa prišlo k



zvyšovaní prúdového limitu. Pri prekročení hodnoty 1 A sa však experiment ukončil a začali sa kontrolovať obvody kvôli ich poškodeniu nadprúdom. Zistilo sa, že pravdepodobne nedošlo k poškodeniu a pozornosť sa zamerala na displej a prevodník. Predpokladalo sa, že 16 vývodov, ktoré tento displej má, bude dodržiavať klasické rozloženie aké je známe z menších displejov 16x2 riadky s radičom HD44780. Kontrolou katalógového listu sa nezistila žiadna kontradiktórna informácia. Po odňatí skratkovacieho jumperu ktorý napájal podsvietenie skrat v celom obvode zmizol, displej však naďalej nejavil známky fungovania. Premeraním všetkých kontaktov sa zistilo, že napájacie napätie pre displej je prepadnuté na úrovni približne jedného voltu. Pre vyriešenie tohto problému sa teda muselo použiť viac, než len bežných oživovacích procedúr. Displej bol komplikovane a za veľkého množstva tepla odpojený od prevodníku, pričom mohlo dôjsť k poškodeniu nadmerným teplom. Použitím druhého displeja rovnakého komunikačného protokolu sa overilo, že sa dá ovládať cudzou vývojovou doskou Arduino. V tomto zapojení sa vymenil displej za doteraz nefunkčný a jeho prejavy boli sporadické, nikdy sa však nestalo, že by fungoval. Naopak, po pripojení záložného displeja k prevodníku už nedošlo ku skratovému odberu. Displej však nefungoval, dôvod je pravdepodobne stále nízke napájacie napätie. Dá sa teda vyvodiť záver, že nesprávna kombinácia displeja s neštandardným rozhraním a prevodníka spôsobil poškodenie oboch. Kvôli úspore času sa preto pristúpilo k náhrade oboch, Obr. 4.12.

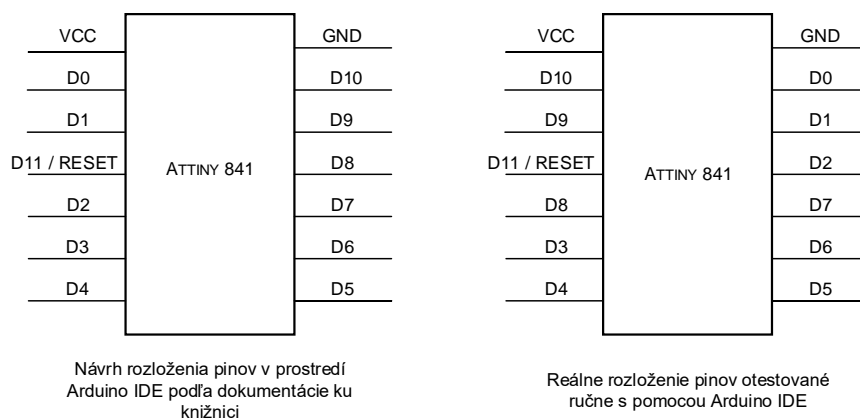


*Obr. 4.12: Nový displej osadený na mieste*

Implementácia mikrokontroléru Attiny sa nezaobišla bez komplikácií. Ako prvý sa ukázal problém pri identifikácii typu mikrokontroléru. Arduino ISP ako



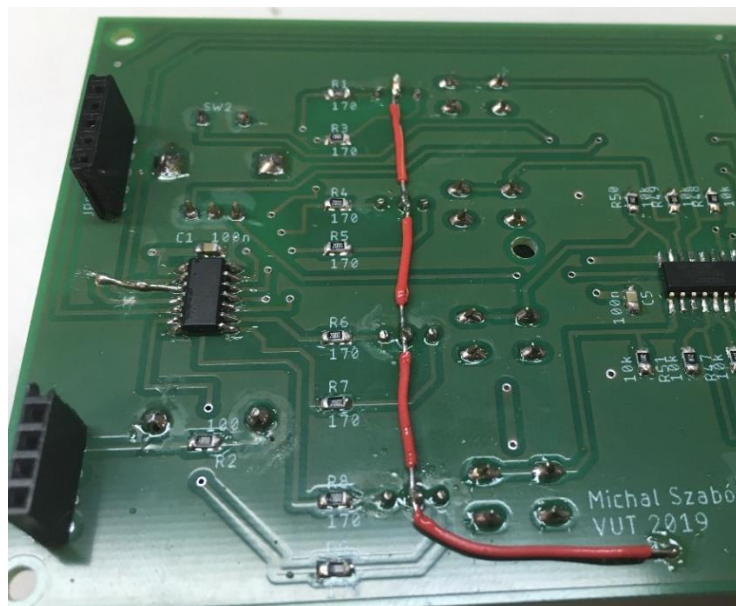
programátor komunikoval s programovaným mikrokontrolérom, ale odmietal ho programovať z dôvodu nesprávne zvoleného typu mikrokontroléru v nastaveniach. Ukázalo sa, že zakúpený Attiny 841 nie je ekvivalentom pôvodne uvažovaného Attiny 84, ale je to odlišný typ rovnako fungujúceho mikrokontroléru. Pri následnom programovaní tento mikročip vykazoval nepredvídané správanie na svojich výstupných perifériách, teda výstupy boli inde, ako sa uvádzalo v dokumentácii pre knižnicu ktorá programuje mikrokontrolér v prostredí Arduino IDE, viz. Obr. 4.13. [28]



Obr. 4.13: Návrh rozloženia pinov a ich rozdiely v dokumentácii a v realite [26]

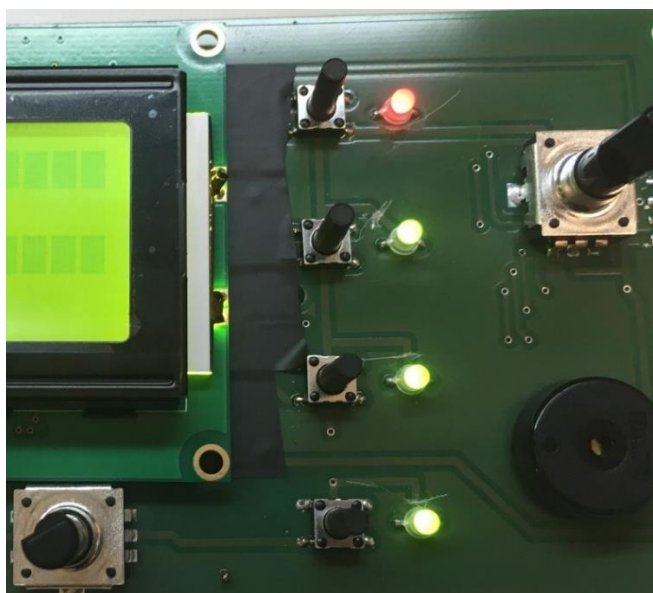
Po správnom usporiadaní pinov v riadiacom programe sa odhalila nepozornosť pri návrhu. Predpoklad bol, že keď všetky piny, ktoré sú schopné A/D prevodu budú schopné aj PWM regulácie svojho výstupu. Opak bol však pravdou a len niektoré výstupy toto dokážu bez zložitejšieho programovania. Ďalšia nepozornosť spôsobila, že jeden z komunikačných pinov medzi Arduino a mikrokontrolérom je pripojený na RESET pin mikrokontroléru. Ten skutočne dokáže plniť aj funkciu viacúčelového vstupno-výstupného portu, avšak funkcia RESET je kľúčová pri programovaní mikrokontroléru pomocou Arduina v režime ISP. Ak by sa funkcia tohto portu premapovala, už by sa týmto jednoduchým a rýchlym spôsobom mikrokontrolér nedal naprogramovať. Musel by sa použiť spôsob programovania vysokým napätím na programátore špeciálne na to určenom. Kompromis teda bol prerušiť vodivú cestu na ovládacej DPS a krátkym drôtom prepojiť komunikačný port s neobsadením vývodom na čipe, viz. Obr. 4.14. Naprogramovaný čip sa osadil na DPS a indikačné LED nereagovali. Dôvodom bola ďalšia vada dizajnu. Zakúpené dvojfarebné LED

mali spoločnú katódu, teda spoločné uzemnenie. Pri nákrese schémy vo vývojovom prostredí EagleCAD sa však použila súčiastka so zapojením opačným. Preto bola na DPS dióda prepólovaná a nesvieti. Oprava zahrnula prerušenie vodivých ciest k združeným vývodom diód a doplnenie vodiča, ktorý ich uzemňuje, Obr. 4.14.



*Obr. 4.14: Dodatočné opravy na riadiacej DPS*

Po tomto zásahu už všetky LED fungovali, Obr. 4.15. [26] [29]



*Obr. 4.15: Prerušené vodivé cesty a funkčné indikačné LED*

### 4.4.1 Termočlánok

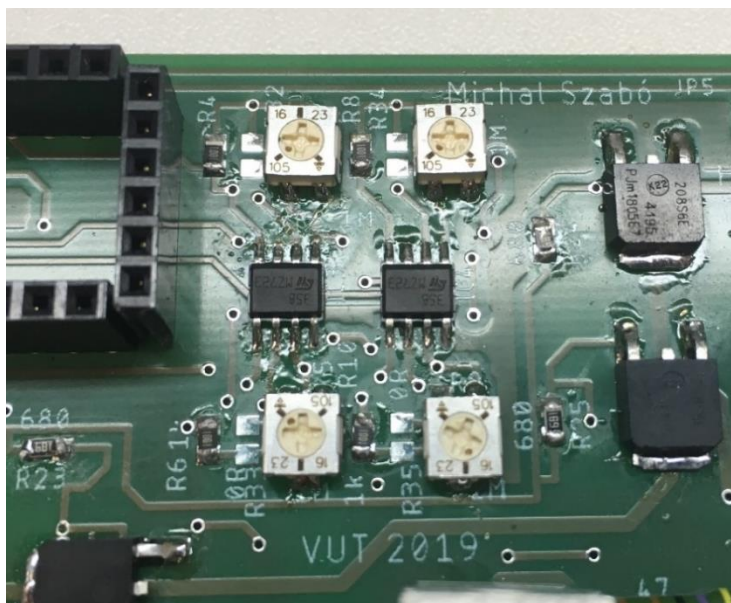
Ako prvé z osadených komponent sa testovali operačné zosilňovače, ktoré zosilňujú signál z termočlánkov, viz. Obr. 4.16. V kludovom stave, kedy na ich vstupe nie je termočlánok pripojený, prechádzajú zosilňovače do kladnej saturácie. Takto sa prišlo na ďalšiu závalu dizajnu, ktorá spočíva v tom, že zvolené operačné zosilňovače nie sú typu rail-to-rail. To znamená, že ich výstup v saturácii, kladnej alebo zápornej, je menší o konštantné napätie. V prípade tohoto zosilňovača (LM358) je to typicky 1,35V. Preto pri napájacom napätí 5V je maximálne napätie na výstupe cca. 3,65V. Takto teda používame len približne 75% z dostupného rozsahu 10-bitového rozlíšenia. Na danom rozsahu teplôt (max. 400°C) a napätí bude teda rozlíšenie vypočítané vo výpočte 4.3, kde  $U_{max}$  a  $U_{ref}$  sú napätia maximálne dosiahnuté a referenčné. Podobne  $i_{max}$  a  $i_{ref}$  sú celočíselné hodnoty maximálne dosiahnuté a maximálne, ktoré vytvára A/D prevodník. [30][19]

$$i_{max} = \frac{i_{ref} * U_{max}}{U_{ref}} \quad (4.2)$$
$$i_{max} = \frac{1024 * 3,65}{5}$$
$$i_{max} = 748$$

$$\Delta t = \frac{t_{max}}{i_{max}} \quad (4.3)$$
$$\Delta t = \frac{400}{748}$$
$$\Delta t = 0,53^{\circ}\text{C}/div$$

Táto závala by sa dala vyriešiť jednoduchým spôsobom, a to je výmena operačného zosilňovača za typ podporujúci rail-to-rail napäťový výstup. Integrované obvody obsahujúce dva operačné zosilňovače v 8 vývodovom puzdre majú spravidla rovnaké rozloženie pinov a sú navzájom vymeniteľné. Zložitejším riešením s použitím súčasných operačných zosilňovačov by bolo buď na aktuálnej DPS prerušiť vodivé cesty napájania a ohybným vodičom pripojiť ich napájanie na 12V linku. Rovnako by sa toto riešenie dalo implementovať aj do novej verzie DPS. V súčasnom

stave prvého pokusu o funkčný výrobok je aj vyššie uvedená presnosť dostatočná prinajmenšom na demonštračné účely.



*Obr. 4.16: Operačné zosilňovače s ladiacimi potenciometrami*

Overovaním zapojení vývodov na nástrojoch sa zistilo, že veľkosť napätia na termočlánku sa pohybuje v ráde jednotiek milivoltov. A/D prevodník na ATmega 328P má 10-bitovú hĺbku, pričom kvantizačný krok závisí na privedenom referenčnom napätí. V tomto zapojení sa používa napájacie napätie 5V ako referencia, teda LSB bit má veľkosť vypočítanú vo výpočte 4.4. Napätie na výstupe termočlánku musí byť zosilnené, aby sa využil celý rozsah napätí a výsledná teplota mala uspokojivú presnosť, teda približne 0,5°C. Okrem toho je termočlánok veľmi mäkký zdroj napätia a nesmie byť zaťažovaný. Na to slúžia dva páry operačných zosilňovačov LM358. Operačný zosilňovač má veľký vstupný odpor, takže nezaťažuje zariadenie na vstupe. Každý operačný zosilňovač má potenciometer pre nastavenie zosilnenia, pretože je nepravdepodobné, aby mal každý termočlánok rovnakú odozvu na rovnakú teplotu. Maximálne zosilnenie je 1001, podľa výpočtu 4.5. [19][30]

$$\Delta U = \frac{U_{ref}}{2^n}$$

$$\Delta U = \frac{5}{1024}$$

$$\Delta U = 4,88mV$$
(4.4)

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$G = 1 + \frac{1 * 10^6}{1 * 10^3} \quad (4.5)$$

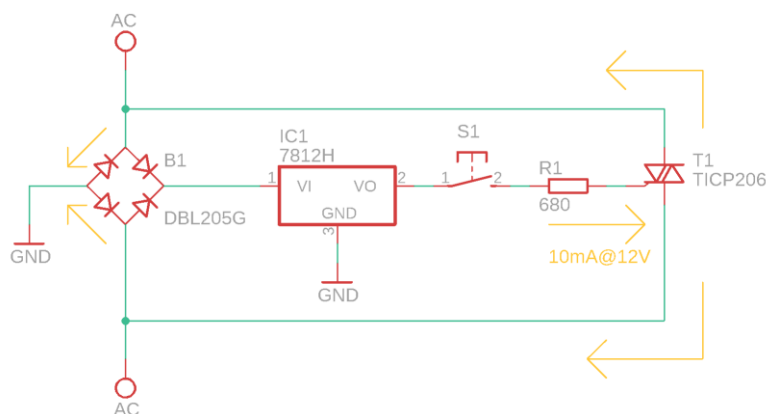
$$G = 1001$$

Existuje lepšie riešenie, ako spoľahlivo merať teplotu na termočlánku. Termočlánok meria len rozdiel medzi svoji teplým a studeným koncom, t.j. rozdiel medzi teplotou spoja dvoch drôtov rôznych kovov a bodu, kde tieto drôty prechádzajú do konektoru. Za predpokladu, že teplota konektoru bude za každých podmienok približne rovnaká, je metóda s operačným zosilňovačom použitá v tomto zariadení dostatočne presná. V opačnom prípade sa dá táto problematika riešiť dvoma spôsobmi. Technicky jednoduchšie, avšak konštrukčne náročnejšie je mať konektor pripojený na svorkovnicu, ktorej teplota je snímaná. Snímaná môže byť napríklad diódou v záverom smere, ktorá mení pracovný bod operačného zosilňovača a tým teplotne kompenzuje celý systém. Rýchlejšie riešenie je použiť integrovaný obvod od niektorého zo zavedených výrobcov. Tieto integrované obvody (AD595, MAX6675) majú vstavané napäťové referencie, ktoré kompenzujú teplotnú nepresnosť. Okrem toho dokážu nameranú teplotu odoslať ako navzorkované číslo niektorým zo sériových komunikačných protokolov. Pre toto zariadenie sa predpokladá dobré prúdenie vzduchu a teda zachovanie stálej teploty. [31]

#### 4.4.2 Výkonová regulácia

Výkonová regulácia spínajúce veľké prúdy na striedavom napätí bola navrhnutá podľa článku na internete a predpokladalo sa jej rýchle a jednoduché oživenie. Spočiatku sa zdalo, že celá táto sústava nejaví známky života. Bolo namerané napätie 12V na gate riadiaceho triaku, vtedy malo byť striedavé napätie pustené do výkonových častí. Začala sa prehodnocovať správnosť zapojenia, pričom potencionálny problém sa javil pri samotnom otváraní triaku. Triak je otváraný prúd do gate, je teda logické, že tento prúd musí niekam odtiecť. Otázne bolo, že ak tento prúd, ktorého potenciál je meraný vzhľadom na nulový potenciál vytvorený Graetzovým usmerňovacím mostíkom je schopný tiecť do jedného z jeho vstupov,

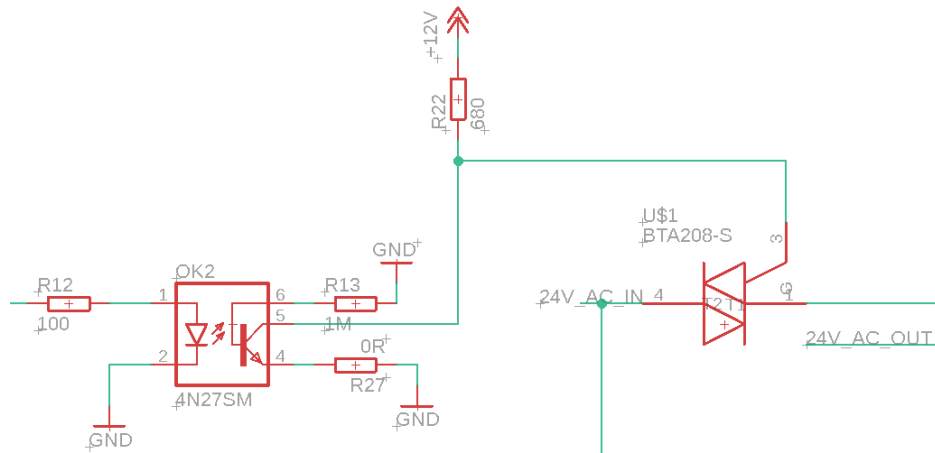
viz. Obr. 4.17. Ak totiž príde do mostíku, musel by prejsť cez diódu pólovanú v závernom smere voči toku prúdu. Zároveň je aspoň jedna z diód, ktoré vedú na zemný potenciál vždy otvorená a teoreticky by prietok tohto malého prúdu túto diódu len nepatrne privrel. [23]



Obr. 4.17: Schéma riešenia problému toku prúdu z gatu do zemného potenciálu

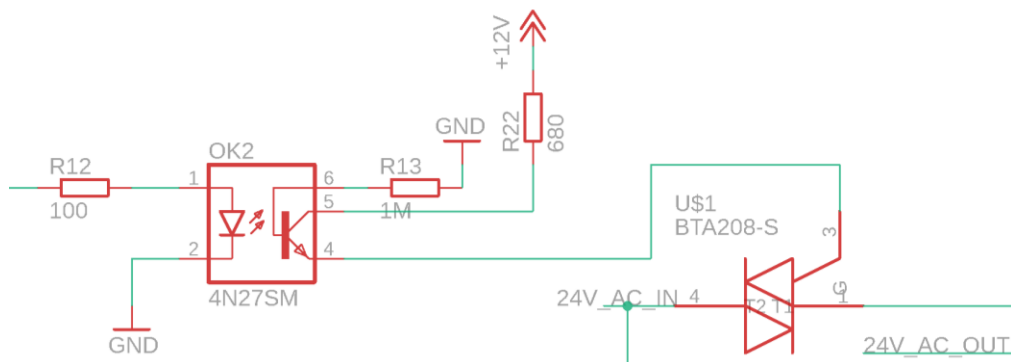
Preto sa takéto zapojenie, v kľúčových vlastnostiach podobné tomu reálnemu, zapojilo na prototypovacie kontaktné pole a potvrdila sa jeho funkčnosť. Príčina všetkých týchto prvotných problémov bola nakoniec objavená náhodou, pri premeriavaním ručným multimetrom. Pri opravách po nehode pri oživovaní sa zabudlo pripojiť jednu stranu napájania striedavého prúdu ku všetkým triakom, teda nebolo čo spínať. Rýchla oprava pomocou drôtu s pevným jadrom túto vadu opravila a pripojený spájkovací hrot sa začal zohrievať. Zároveň sa overilo, že triak nie je tepelne namáhaný pretekajúcim prúdom. Pripojením pumpy a vývevy sa však zistilo, že naprogramované spínanie každého zariadenia v intervale jednej sekundy nefunguje a všetky spotrebiče pracujú nepretržite. Hľadanie riešenia znovu upriamilo pozornosť na návrh obvodu spínania. Po ďalšej analýze s vedúcim projektu sa došlo k záveru, že obvod nemohol byť schopný spínať triak. Dôvodom bolo, že otvorením tranzistoru v optočlene sa na gate triaku nestratí 12V, vid'. Obr. 4.18. Úbytok napätia medzi kolektorom a emitorom tranzistoru nie je nulový a preto do gatu bude vždy nejaký prúd tiecť, zjavne dostatočne veľký na to, aby držal triak neustále otvorený. Takéto zapojenie bude mať taktiež veľkú spotrebu energie, pretože vo vypnutom stave je

otvorený tranzistor a preteká cez neho prúd. Je prirodzené, že väčšinu času budú skoro všetky nástroje vypnuté a parazitná spotreba bude veľká.



*Obr. 4.18: Pôvodný návrh spínania triaku, odhalený ako nefunkčný*

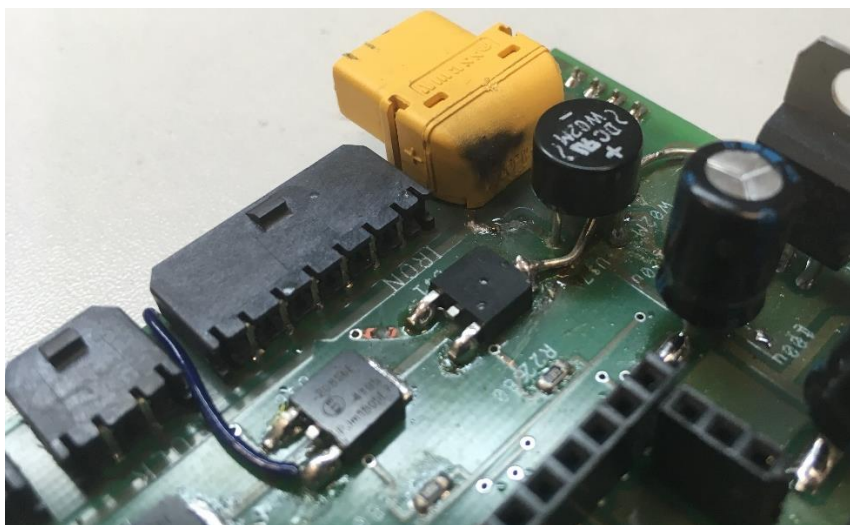
Pristúpilo sa k modifikácii zapojenia. Emitor optočlenu sa odpojil od zeme a pripojil sa ku gate triaku, viz. Obr. 4.19. Takto sa zabezpečilo, že na ňom nebude napätie vo vypnutom stave a že v zapnutom stave bude zopnutý. Ani toto zapojenie sa však neukázalo ako plne funkčné. Bolo zjavné, na pumpe a výveve, že ich výkon je ovplyvnený digitálnym riadením. Avšak zmena je len medzi plným výkonom a približne polovičným, teda nikdy nedôjde k plnému vypnutiu. Predpokladané odôvodnenie je, že aj keď je tranzistor uzavretý, stále gate triaku nie je na zemnom potenciáli a tečie doňho parazitný prúd.



*Obr. 4.19: Modifikované zapojenie s presunutým gatom*

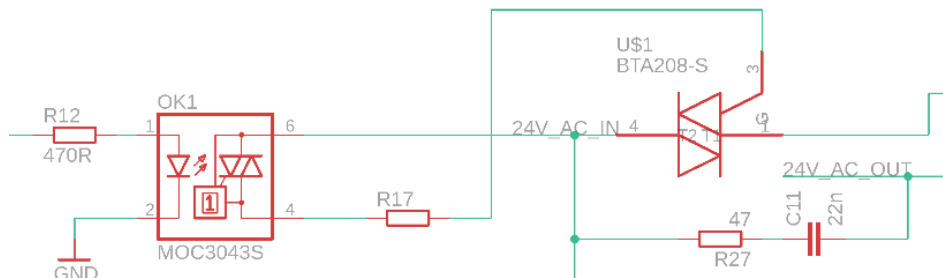
Preto sa ako rýchly pokus k emitoru pripojil aj zemný potenciál. Tento pokus dopadol veľkým neúspechom, viď. Obr. 4.20. Zhorel usmerňovací mostík, prasklo jeho puzdro a zašpinilo vedľajší konektor. Spálil sa triak, všetky jeho vývody sú

navzájom preskratované a pravdepodobne sa poškodil aj regulátor 7812. Po podrobnej analýze a konzultácii s vedúcim bakalárky sa prišlo na to, že toto zapojenie nemohlo nikdy fungovať tak, ako sa zamýšľalo. Triak sa skutočne otvára prúdom do gatu. Na rozdiel od predpokladu sa však kladným pulzom otvorí triak len pre kladnú polvlnu striedavého napätia. Pre zápornú polvlnu je potrebné dodať negatívny pulz. Toto zapojenie takúto vlastnosť nemalo a prúd tečúci do spotrebičov bol jednoducho usmernený.



Obr. 4.20: Poškodené výkonové súčiastky a vodivé cesty

V tomto bode sa pokusy o opravu návrhu, ktorý bol od začiatku vadný, skončili. Usúdilo sa, že predmetom tejto práce bude pojednávať o úskaliach zlého návrhu, pokusoch o ich opravu a pláne na nový a správny návrh. Nový návrh, konzultovaný s vedúcim práce, obsahuje optotriak, ktorý nahrádza optočlen, viz. Obr. 4.21. Je inšpirovaný viacerými podobnými návrhmi na internete. [32]



Obr. 4.21: Príklad návrhu spínania výkonových zariadení

Základ tohto zapojenia vychádza z katalógového listu firmy Fairchild, ktorá optotriaky vyrábala a dodávala ich s odporúčaným obvodovým zapojením. Zapojenie



sa líši medzi spínaním čiste odporovej alebo induktívnej záťaže. Rezistívna záťaž, ako napríklad výhrevná špirála, nepotrebuje okrem rezistorov limitujúcich prúd do častí optotriakov žiadne dodatočné komponenty. Induktívna záťaž, typicky motory, solenoidy a pod., posúva fázu prúdu a napätia a môže dôjsť k nesprávnemu načasovaniu zmeny stavu triaku. Preto sú začlenené kompenzačné prvky, ktoré kompenzujú účinník induktívnej záťaže, Obr. 4.21. [33]

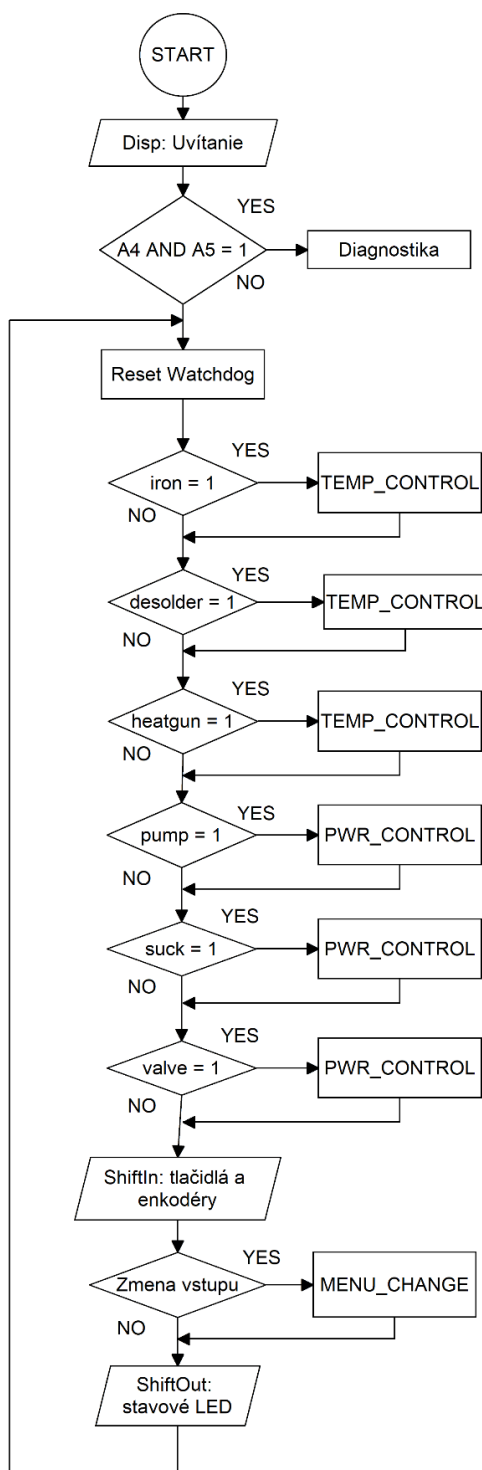
Aplikácia tejto vylepšenej výkonovej regulácie už nie je súčasťou tejto práce. Na ich realizácii sa však naďalej intenzívne pracuje a budú funkčné nedlho po odovzdaní tejto práce.

## 4.5 Firmvér

Riadiaci softvér môže byť koncipovaný rôznymi spôsobmi. Najjednoduchšie je procesy pri obsluhu jednotlivých funkcií oddeľovať čakacími stavmi, kedy procesor len počíta čas do vykonávania ďalšej funkcie. Prepracovanejšie je použiť hardvérové prerušenia, vtedy procesor nevykonáva žiadnu operáciu, pokiaľ nedostane signál o zmene stavu niektorej z funkcií, obsluži ju a znovu čaká na povel. Tento prístup sa blíži klasickému operačnému systému, ktorý prerozdeľuje prostriedky, teda procesorový čas, medzi všetky procesy. Kompromisom medzi týmito prístupmi je lineárne správanie sa programu bez využitia čakacích stavov. Tento princíp využíva fakt, že takt procesoru a s ním aj doba na vykonanie operácií je krátka v pomere k dobám, ktoré trvajú všetky deje pri ovládaní celého systému. Technika tohoto prístupu spočíva v tom, že celý program je len sled podmienených príkazov, často navrstvených jeden v druhom. Ak je niektorá funkcia aktivovaná, je splnená podmienka a podružným systémom podmienok sa spracováva podnet. Až program prejde cez všetky splnené podmienky, celá sekvencia sa skončí a prechádza sa na ďalšiu podmienku. Kvôli zrýchleniu celého procesu sa doba spracovávania podmienky môže oddialiť nastavením premennej na počet cyklov, ktoré program musí prejsť, aby bolo znovu opodstatnené sekciu kódu aktivovať a tráviť procesorový čas jej riešením. Riadiaci firmvér sa nezaobrá zložitými výpočtami ani rýchlym prenosom dát, preto zložitejšie kódovanie nie je potrebné.

Algoritmus riadiaceho programu je uvedený vo vývojových diagramoch na Obr. 4.22 a Obr. 4.23. Ako prvý krok hlavného programu je uvedené reštartovanie

watchdogu. Čas zopnutia watchdogu je nastavený na jednu sekundu. Po tejto dobe bez jeho reštartovania sa vyvolá reštart systému.



Obr. 4.22: Vývojový diagram hlavného programu

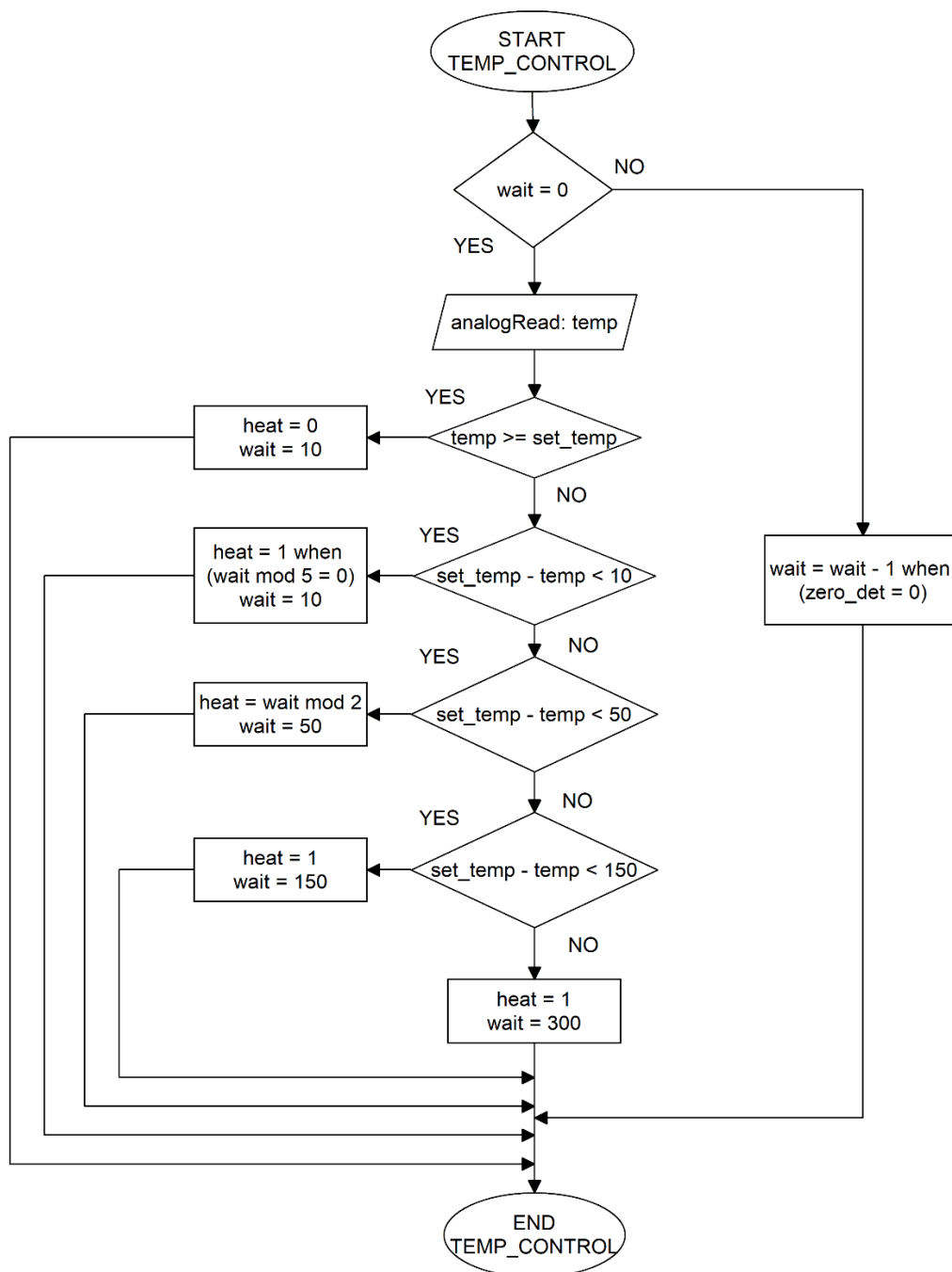
Takto nastavený čas dáva viac než dosť priestoru na kompletne prejdenie programu aj v jeho najpomalšej podobe, teda so všetkými podsystémami aktívnymi. Jedna

sekunda je zároveň časový interval dosť krátky na to, aby aj pri havarijnom stave výstupov mikrokontroléru nedošlo k poškodeniu zariadenia.

Ďalšie kroky spočívajú v kontrole, či je niektorá z funkcií zapnutá. Jedná sa o mikros pájku, odsávačku, teplovzdušnú pištoľ, pumpa, výveva a ventil. Každý z týchto blokov, v prípade, že je aktivovaný, prejde to podprogramu riadenia výkonu. V prípade tepelných nástrojov je to riadenie ich teploty a v prípade mechanických nástrojov to je riadenie ich výkonu. Po úprave stavov na výkonových členoch mikrokontrolér načíta stavy tlačidiel a enkodérov cez sériové rozhranie. Zmeny stavov na týchto vstupoch sa vyhodnotia. Výsledkom tohto kroku je zmena registru stavov jednotlivých nástrojov, ktoré sa pri ďalšom cykle programu aktivujú, resp. deaktivujú. Zmena taktiež môže spočívať v nastavenej teplote niektorého z nástrojov alebo ich výkonu. Pri aktivácii systému menu zase zmena spôsobí pohyb v tomto systéme. Každá z týchto zmien taktiež spôsobí prekreslenie obsahu displeja podľa príslušnej zmeny, zároveň aj spustenie zvukovej signalizácie, ak je to nutné. Posledným krokom celého cyklu je sériové vyslanie dát do sekundárneho mikrokontroléru. Sú to dva bajty informácií o stave indikačných LED. Po tomto kroku sa celý cyklus opakuje.

Špeciálnu pozornosť si ešte zaslúži teplotná regulácia. Jej základom je signál o prekročení striedavého napätia nulovým potenciálom. Každý podprogram s výkonovou alebo teplotnou reguláciou má svoj vlastný čakací register. Ak sa obsah tohto čakacieho rovná nerovná nule, tak v prípade že je signalizovaný prechod napätia nulou je tento register dekrementovaný. Keď sa však obsah tohto registru rovná nule, tak sa začína proces zisťovania teploty tohto nástroja. Po návrate hodnoty z príslušného A/D prevodníku sa táto teplota porovnáva a radí do kategórie. Ak je nameraná teplota vyššia než nastavená je napätie odpojené. Ak je teplota nižšia než nastavená, porovnáva sa jej rozdiel a z neho sa nastaví výkon do výhrevného telesa. Zaujímavosťou je, že program dokáže podľa potreby prispôbovať počet polvln do záťaže, povedzme každú piatu a podobne. Takto sa reguluje výkon. Prirodzene, ak je rozdiel teplôt veľký, tak je tok prúdu zapnutý nepretržite. S nastavením výkonového výstupu sa nastaví aj číslo do čakacieho registru, ktorý zase určuje akú dlhú dobu sa nebude kontrolovať teplota a meniť stav výstupov.

Výkonová regulácia mechanických spotrebičov je veľmi podobná s tým rozdielom, že sa nemusí porovnávať teplota, len sa priraduje koľko polvln odpovedá požadovanému výkonu.



Obr. 4.23: Vývojový diagram riadenia teploty

Firmvér bol navrhnutý predtým, než reálne zariadenie fungovalo úplne. Nemohol však byť dokončený, pretože sa nepodarilo oživiť spínanie triaku Arduinoom cez optočlen. Toto je kľúčová časť celého kódu, v ktorej spočíva celá zložitosť.

Nemožnosť firmvér testovať znemožňuje dokončenie. Ostatné funkcie, ako merať teplotu A/D prevodníkmi, snímať stavy tlačítok a enkodérov, zapisovať na displej a blikáť LEDkami je porovnateľne jednoduchšie a tieto funkcie sú už hotové. Po náhrade riadiacej DPS novším dizajnom bude firmvér dokončený a otestovaný pre nasadenie do reálneho používania.

## 5 ZÁVER

V úvode sa načrtli požiadavky na výstupy tejto práce a približný postup, ako ich dosiahnuť. Prvá teoretická časť, obsiahnutá z veľkej časti v semestrálnej práci bola dobre rozpracovaná a pokryla teóriu spájkovania, teda podmienky na jeho správne vytvorenie. Okrem toho boli popísané obvody zapojenia slúžiace na regulovanie správnej teploty nástrojov, čo je najpodstatnejšia vlastnosť celého zariadenia. Udržať presnú teplotu pri rôznych záťažach nástrojov vyžaduje to najlepšie možné zapojenie, ktorým sa ukázalo mikroprocesorové riadenie v spolupráci s triakovou reguláciou. Ako zdroj spätnej väzby pre takýto systém slúži termočlánok vstavaný do tela nástroja a jeho výstupné napätie je snímané analógovo-digitálnym prevodníkom. Boli tiež navrhnuté vonkajšie rysy nového prístroja a jeho funkcie, teda akými nástrojmi bude prístroj disponovať, ako sa budú tieto nástroje ovládať a ako bude vyzeráť rozhranie medzi prístrojom a užívateľom.

S týmito poznatkami boli prvé praktické kroky zjavné. Objavenie konkrétnejších návrhov obvodových zapojení na internete dalo vzniknúť zoznamu súčiastok potrebných nakúpiť. Prihliadalo sa na dostupnosť týchto komponent v tuzemských predajniach, hlavne kvôli ich cene dopravy a tiež reprodukovateľnosti výstupov tohto projektu. Zabezpečením všetkých potrebných komponent sa započalo kreslenie dosky plošných spojov. Tento proces sa nemohol začať skôr, pretože by nebolo jasné o aké komponenty sa jedná fyzicky, teda či je ich prevedenie vývodové alebo pre povrchovú montáž a podobne. Návrh DPS sa ukázal ako najdlhšie trvajúci proces, čo bolo spôsobené veľkým množstvom komponent a obmedzenými veľkosťami plochy DPS. Aj preto muselo byť zariadenie realizované na dvoch, medzi sebou prepojenými DPS, aby sa predišlo kolíziám komponent na dvoch stranách jednej DPS. Tento krok sa ukázal ako veľmi dôležitý, pretože zložitosť hlavnej, riadiacej, DPS neumožňoval rozvedenie všetkých signálov naprieč celou doskou a sekundárna, ovládacia, DPS tento problém vyriešila. Zadanie dosiek do profesionálnej výroby zaručilo ich vysokú kvalitu a eliminovalo problémy pri vlastnej výrobe. Ich rýchle osadenie vďaka kvalitnej DPS bolo už len plusom a ušetrilo sa tým veľa času.

Poslednou fázou bolo oživenie celého projektu a pridanie funkcionality robustným firmvérom. Nedodržanie potrebných opatrení viedlo ku nehode pri oživovaní jednoduchých napájacích obvodov. Skratovanie napájania meracími sondami malo za

následok odparenie medených vodivých ciest na DPS a poškodenie komponentov spojených s napájaním. Tieto veľké prúdy, ktoré odparili keď by sa ani v havarijnej situácii na doske nevyskytli, keby sa namiesto toroidného transformátoru použil jednosmerný laboratórny zdroj s prúdovým obmedzením. Po odstránení následkov bolo oživovanie úspech za úspechom. Aj keď niektoré komponenty nefungovali tak, ako sa predpokladalo, väčšina sa oživovala bez problémov. Tlačidlá a enkodéry, ktoré sa interfejšovali cez paralelno-sériové prevodníky, analógovo-digitálne prevodníky a ich spolupráca s operačnými zosilňovačmi, všetky tieto súčasti zariadenia fungovali takmer na prvé použitie bez chyby. Limit výstupného napätia na operačných zosilňovačoch síce obmedzil rozlíšenie merania teploty, ale to stále nemalo veľký vplyv na funkciu zariadenia. Ani prvotné problémy s displejom a jeho prevodníkom, kde oba museli byť vymenené pre ich vzájomnú nekompatibilitu a neskôr poškodenie nezapríčinili neprierodnú prekážku v postupe.

Konečným problémom bola až neschopnosť vykonávať základnú funkciu spájkovacej stanice, a to zohriať akýkoľvek nástroj a následne jeho teplotu regulovať. Pri pokusoch, kedy boli všetky nástroje zapnuté, bez ohľadu na výstup mikrokontroleru sa zistila záhada dizajnu, ktorá znemožnila riadenie toku prúdu do výkonových periférií. Napriek pokusom o opravu už vyrobeného zapojenia sa záhadu nepodarilo odstrániť, navyše však DPS postihol ďalší skrat a nevratné poškodenie, takže oprava už nebola reálna.

Záverom sa musí konštatovať, že bakalárska práca sa skončila neúspechom. Riadiaci program bol načrtnutý ako algoritmus. Nebolo však možné jeho implementáciu otestovať na zariadení, aby sa našli a opravili nesprávne predpoklady o jeho fungovaní. Nefunkčné zariadenie vo výkonovej časti znemožňuje jeho ďalší vývoj. Hodnotenie však nie je úplne negatívne, pretože napriek neúspechu sa zistili a objasnili nové informácie. Je jasné, že väčšina riešení je správna, niektoré zase vedú lepším. Sú navrhnuté riešenia problémov, čo by malo viesť k úspešnému skonštruovaniu funkčnej spájkovacej stanice v budúcnosti. Pedagogická kvalita tejto práce je nesporná, pretože aj keď tri roky na elektrotechnickej fakulte poskytujú solídne základy v obore, nič nenahradí praktické skúsenosti, do ktorých patria aj neúspechy.

## Použitá literatúra

- [1] RUŽA, Viliam. *Pájení*. 2. upr. a dopl.vyd. Praha: SNTL, 1988, 452 s.
- [2] SZENDIUCH, Ivan. *Základy technologie mikroelektronických obvodů a systémů*. Brno: VUTIUM, 2006, 379 s. : il., grafy. ISBN 80-214-3292-6.
- [3] Pb-free Soldering. In: *The Soldering Craftsman: Pb-free Soldering* [online]. Japonsko, 2012 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [http://www.soldering.jp/\\_src/sc494/18-0-1.jpg](http://www.soldering.jp/_src/sc494/18-0-1.jpg)
- [4] ŠANDERA, Josef. *Plošné spoje a povrchová montáž*. Brno: VUT v Brně, 1999, nepr. str. ISBN 80-214-1499-5.
- [5] SZENDIUCH, Ivan. *Mikroelektronické montážní technologie*. Brno: VUTIUM, 1997, 237 s. ISBN 80-214-0901-0.
- [6] ŠANDERA, Josef a Jiří STARÝ. *Mikroelektronické praktikum II*. Brno: VUT, 2003. ISBN 8021423250.
- [7] KUČÍREK, Martin. *Vliv integrálu teploty a času pájení na kvalitu pájeného spoje*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017, 67, viii listů : ilustrace + 1 CD-ROM.
- [8] Kester Reflow Profile. In: *Stackr Excahge: Electrical Engineering* [online]. USA, 2008, 11.7.2014 [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://i.stack.imgur.com/PhUW1.jpg>
- [9] JOHNSON, Steve. Brief History of the Soldering Iron and Soldering Gun. *Steve's Antique Technology: Vintage Technology, Antique Radios, Test Equipment, and Service Manuals* [online]. USA, 1995 [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: <https://stevenjohnson.com/soldering/history.htm>
- [10] PACE WJS 100. In: *PACE Soldering* [online]. USA [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: [https://www.paceworldwide.com/sites/default/files/WJS100-high-power-soldering-station\\_0.jpg](https://www.paceworldwide.com/sites/default/files/WJS100-high-power-soldering-station_0.jpg)
- [11] Regulátor k trafosvářečce: Schéma zapojení triakového regulátoru. In: *Svarinfo.cz: Magazín praktického svařování* [online]. ČR, 2005 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: [https://www.svarbazar.cz/phprs/image/200704242127\\_regulator.gif](https://www.svarbazar.cz/phprs/image/200704242127_regulator.gif)
- [12] PREDNÝ, Patrik. Mikropájkovačka s OZ. In: *Elektronika Profesionál Portál* [online]. SR, 2012 [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://p2e.tode.cz/wp-content/gallery/pajkovacka-s-oz/sch.jpg>
- [13] WELLER T0056810699: Spájkovačka: s výhrevným telieskom; 40W. In: *Transfer Multisort Elektronik* [online]. PL, 1999 [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: [https://static2.tme.eu//products\\_pics/d/c/7/dc7d896e89eececc6f6ce9f94f34e989/49808.jpg](https://static2.tme.eu//products_pics/d/c/7/dc7d896e89eececc6f6ce9f94f34e989/49808.jpg)
- [14] SOLDER PEAK SP-1010DR-GUN: 80W; Náhradný diel: odspájkovacia pištoľ; Určenie: SP-1010DR. In: *Transfer Multisort Elektronik* [online]. PL, 1999 [cit. 2018-12-05]. Dostupné z:



- [https://static2.tme.eu//products\\_pics/2/3/f/23f20bd9b802261dd5ee596e76fc3cbc/289476.jpg](https://static2.tme.eu//products_pics/2/3/f/23f20bd9b802261dd5ee596e76fc3cbc/289476.jpg)
- [15] RAYSTAR OPTRONICS RC1604A-LLH-JWV: Displej: LCD; alfanumerický; VA Negative; 16x4; LED; Znak:4,75mm. In: *Transfer Multisort Elektronik* [online]. PL, 1999 [cit. 2018-12-05]. Dostupné z: [https://static2.tme.eu//products\\_pics/7/5/7/7575cd2ae57fb11e47033bd9728f7b8a/283100.jpg](https://static2.tme.eu//products_pics/7/5/7/7575cd2ae57fb11e47033bd9728f7b8a/283100.jpg)
  - [16] Prúdová zaťažiteľnosť: Tepelný rozptyl na jednej vonkajšej vrstve. *CH-PRINT a. s.* [online]. SK, 2007 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: [http://www.ch-print.sk/technicke\\_podmienky/prudova\\_zatazitelnost2.php](http://www.ch-print.sk/technicke_podmienky/prudova_zatazitelnost2.php)
  - [17] *Gatema a. s.* [online]. ČR, 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.gatema.cz/plosne-spoje>
  - [18] Molex Micro-Fit 3.0 Product page. *Molex* [online]. USA, 2018 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [https://www.molex.com/molex/products/datasheet.jsp?part=active/0436450608\\_C\\_RIMP\\_HOUSINGS.xml](https://www.molex.com/molex/products/datasheet.jsp?part=active/0436450608_C_RIMP_HOUSINGS.xml)
  - [19] Arduino mini ATmega328P 5V 16M. *Arduino-shop* [online]. 2014 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/880-arduino-mini-atmega328-5v-16m.html>
  - [20] LCD Sériové rozhraní IIC/I2C/TWI/SP 1602. *Arduino-shop* [online]. ČR, 2015, 2018 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1071-lcd-seriove-rozhrani-iic-i2c-twi-sp-1602.html>
  - [21] Parallel to Serial Shifting-In with a CD4021BE. *Arduino* [online]. IT, 2003, 2007 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/ShiftIn>
  - [22] BTA208S-600E. *TME* [online]. PL, 2002, 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/7ab3482ee5f8a62894754941ce465604/BTA208S-600E.pdf>
  - [23] Triac Tutorial. *Electronics Tutorials* [online]. Čína, 2014, 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.electronics-tutorials.ws/power/triac.html>
  - [24] Zero Crossing Detector Circuit. *Circuit Digest* [online]. USA, 2019, 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/zero-crossing-detector-circuit-diagram>
  - [25] Pro 1 PCS 50W 24V Soldering Handle With 5Pin For 936 907 Solder Iron Station Uk. In: *Ebay* [online]. USA, 1999, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: [https://www.ebay.com/itm/Pro-1-PCS-50W-24V-Soldering-Handle-With-5Pin-For-936-907-Solder-Iron-Station-Uk/254156747421?\\_trkparms=aid%3D111001%26algo%3DREC.SEED%26ao%3D1%26asc%3D20160727114228%26meid%3Daa1a028e1af24916a6f8a66900c43159%26pid%3D100290%26rk%3D1%26rkt%3D4%26sd%3D254156747421%26itm%3D254156747421&\\_trksid=p2060778.c100290.m3507](https://www.ebay.com/itm/Pro-1-PCS-50W-24V-Soldering-Handle-With-5Pin-For-936-907-Solder-Iron-Station-Uk/254156747421?_trkparms=aid%3D111001%26algo%3DREC.SEED%26ao%3D1%26asc%3D20160727114228%26meid%3Daa1a028e1af24916a6f8a66900c43159%26pid%3D100290%26rk%3D1%26rkt%3D4%26sd%3D254156747421%26itm%3D254156747421&_trksid=p2060778.c100290.m3507)
  - [26] ATtinyCore - Arduino board package for ATtiny841/441. *Drazzy* [online]. USA, 2014, 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://drazzy.com/e/tiny841.shtml>

- [27] DC 12V 2-Position 3-Way Micro Mini Electric Solenoid Valve For Gas Air Pump NIUS. *Ebay* [online]. USA, 1999, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/223374625583>
- [28] Using the Arduino Uno to program ATTINY84-20PU. *Instructables circuits* [online]. USA, 2014, 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/id/Arduino-Uno-to-Program-ATTINY84-Arduino-V-185/>
- [29] Datasheet BL-BEG201. In: *GM elektronik* [online]. CZ, 2008, 2.12.2008 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.511-145.1.pdf>
- [30] Industry-Standard Dual Operational Amplifiers: LM158, LM158A, LM258, LM258A LM358, LM358A, LM358B, LM2904, LM2904B, LM2904V. In: *Texas Instruments* [online]. USA, 1995, 15.6.1976 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symmlink/lm258.pdf>
- [31] Thermocouple Interfacing With Arduino UNO. *Electronic Wings* [online]. USA, 2016, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.electronicwings.com/arduino/thermocouple-interfacing-with-arduino-uno>
- [32] Časovač pro malou bodovku s obvodem NE555. *Svarbazar* [online]. ČR, 2005, 28. 07. 2008 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/rservice.php?akce=tisk&cislocclanku=2008040102>
- [33] Application Note AN-3003: Applications of Random Phase Crossing Triac Drivers. In: *ON semiconductor* [online]. USA, 1999, 2003 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AN-3003.pdf.pdf>

## Zoznam skratiek, symbolov a veličín

7805	elektronický regulátor napätia 5V
7812	elektronický regulátor napätia 12V
A/D	analógovo-digitálny prevodník
ATmega	procesorová rada od firmy Atmel
ATtiny	procesorová rada od firmy Atmel
AVR	procesorová rada od firmy Atmel
BMTS	predmet Mikroelektronika a technologie součástek
DPAK	polovodičové puzdro povrchovej montáže
DPS	doska plošných spojov
ESD	elektrostatický výboj (electrostatic discharge)
G	zisk (napr. tranzistoru, operačného zosilňovača)
I <sup>2</sup> C	sériový komunikačný protokol
IDE	vývojové prostredie (Integrated dev. environment)
ISP	programovanie čipu v obvode (In-system programmer)
MOSFET	unipolárny tranzistor
OZ	operačný zosilňovač
PACE	značka firmy vyrábajúcej spájkovacie stanice
PWM	modulácia šírky pulzu
SAC305	bezolovnatá spájka z kovov Sn, Ag a Cu
STN	technológia zobrazovania LCD (Super Twisted Nematic)
U <sub>ref</sub>	hodnota napätia referencie A/D prevodníku
U <sub>max</sub>	maximálna hodnota napätia na výstupe OZ
μC	mikrokontrolér
i <sub>ref</sub>	celočíselný výstup A/D prevodníku pre referenčné napätie
i <sub>max</sub>	celočíselný výstup A/D prevodníku pre max. napätie OZ
VA	technológia zobrazovania LCD (Vertical alignment)

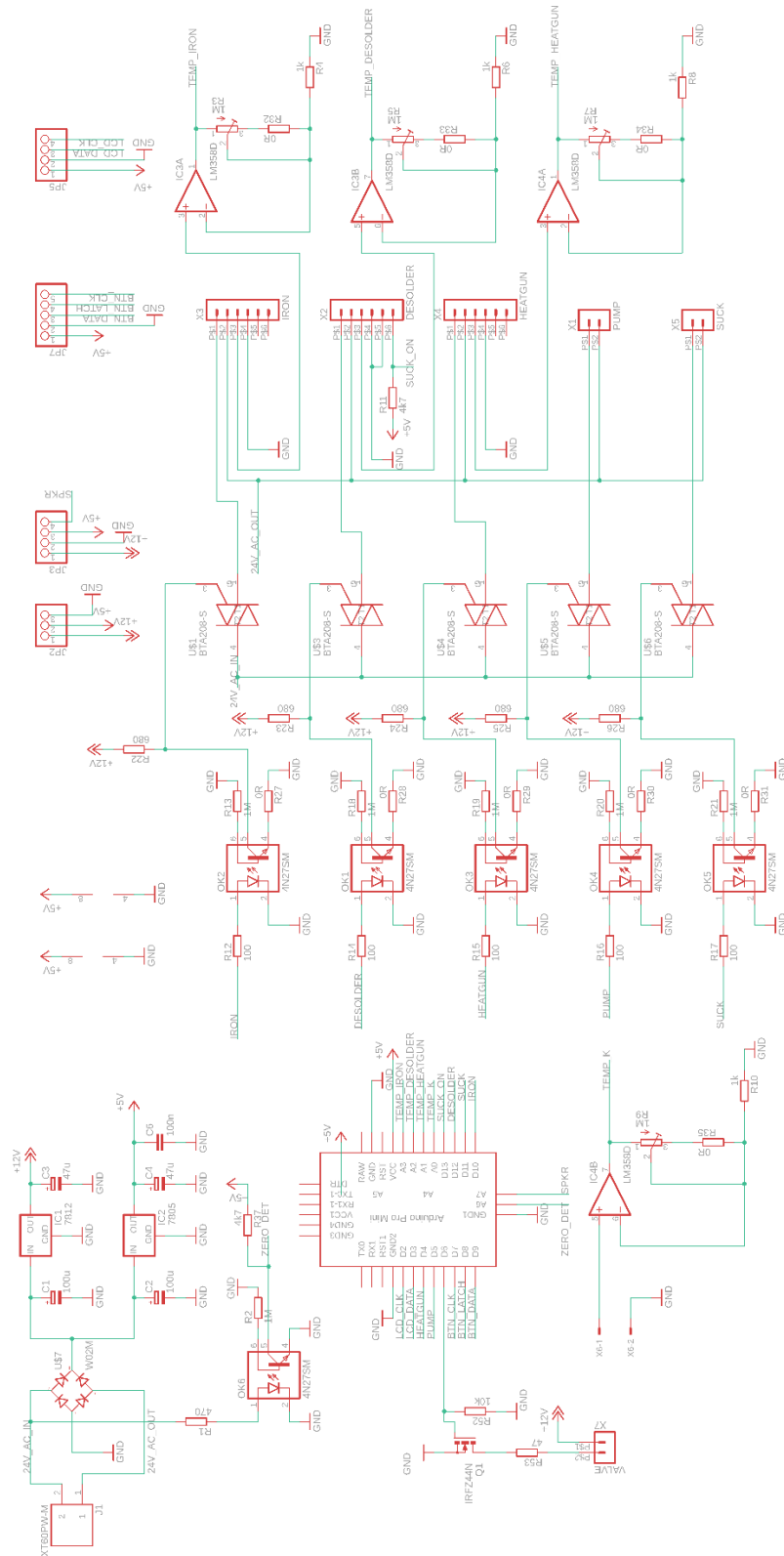
## Zoznam obrázkov

Obr. 2.1: Ukážka ideálneho spájkovaného spoja. ....	8
Obr. 2.2: Porovnanie olovnatej spájky (vľavo) s bezolovnatou spájkou (vpravo). [3] .....	9
Obr. 2.3: Intermetalické zlúčeniny vzniknuté v spájkovanom spoji SnPb. [4].....	11
Obr. 2.4: Príklad spáleného spoja a tavidla. ....	11
Obr. 2.5: „Studený spoj“.....	12
Obr. 2.6: Fázový diagram spájky SnPb. [4].....	13
Obr. 2.7: Príklad profilu pretavovacej pece pre olovnatú spájkou Kester. [8] .....	14
Obr. 2.8: Testovacia doska na overenie vplyvov nesprávne zvoleného teplotného profilu v predmete BMTS.....	15
Obr. 2.9: Príklad pištoľovej trafospájky tuzemskej výroby.....	16
Obr. 2.10: Moderná spájkovacia stanica PACE. [10].....	17
Obr. 2.11: Príklad triakovej regulácie sieťového napätia bez spätnej väzby. [11] ...	18
Obr. 2.12: Príklad zapojenia vyhrievania hrotu s komparátorom. [12] .....	19
Obr. 2.13: Systém vyhrievania s fixnou pracovnou teplotou. [4].....	20
Obr. 3.1: Spájkovacia stanica v súčasnom stave.....	21
Obr. 3.2: Súčasný stav spájkovacej stanice, zvnútra, pohľad sprava.....	22
Obr. 3.3: Spájkovacie pero Weller WH40. [13] .....	23
Obr. 3.4: Odsávačka cínu Solder Peak používaná v laboratóriu SC2.83 na FEKT VUT. [14].....	23
Obr. 3.5: Súčasný stav čelného panelu. ....	25
Obr. 3.6: Displej s VA technológiou. [15].....	26
Obr. 4.1: Model riadiacej DPS (pohľad zhora).....	29
Obr. 4.2: Model ovládacej DPS (pohľad zdola) .....	29
Obr. 4.3: Graf závislosti prúdovej zaťažiteľnosti plošného vodiča s hrúbkou vodiča 18μm a rôznymi zmenami teploty vodiča [16] .....	30
Obr. 4.4: Konektor Micro-Fit 3.0 od firmy Molex [18] .....	32
Obr. 4.5: Vývojová doska Arduino Pro Mini [19].....	32
Obr. 4.6: Komunikačný modul protokolu I <sup>2</sup> C medzi LCD displejom a μC [20] .....	33
Obr. 4.7: Detektor prechodu fáze nulou.....	35

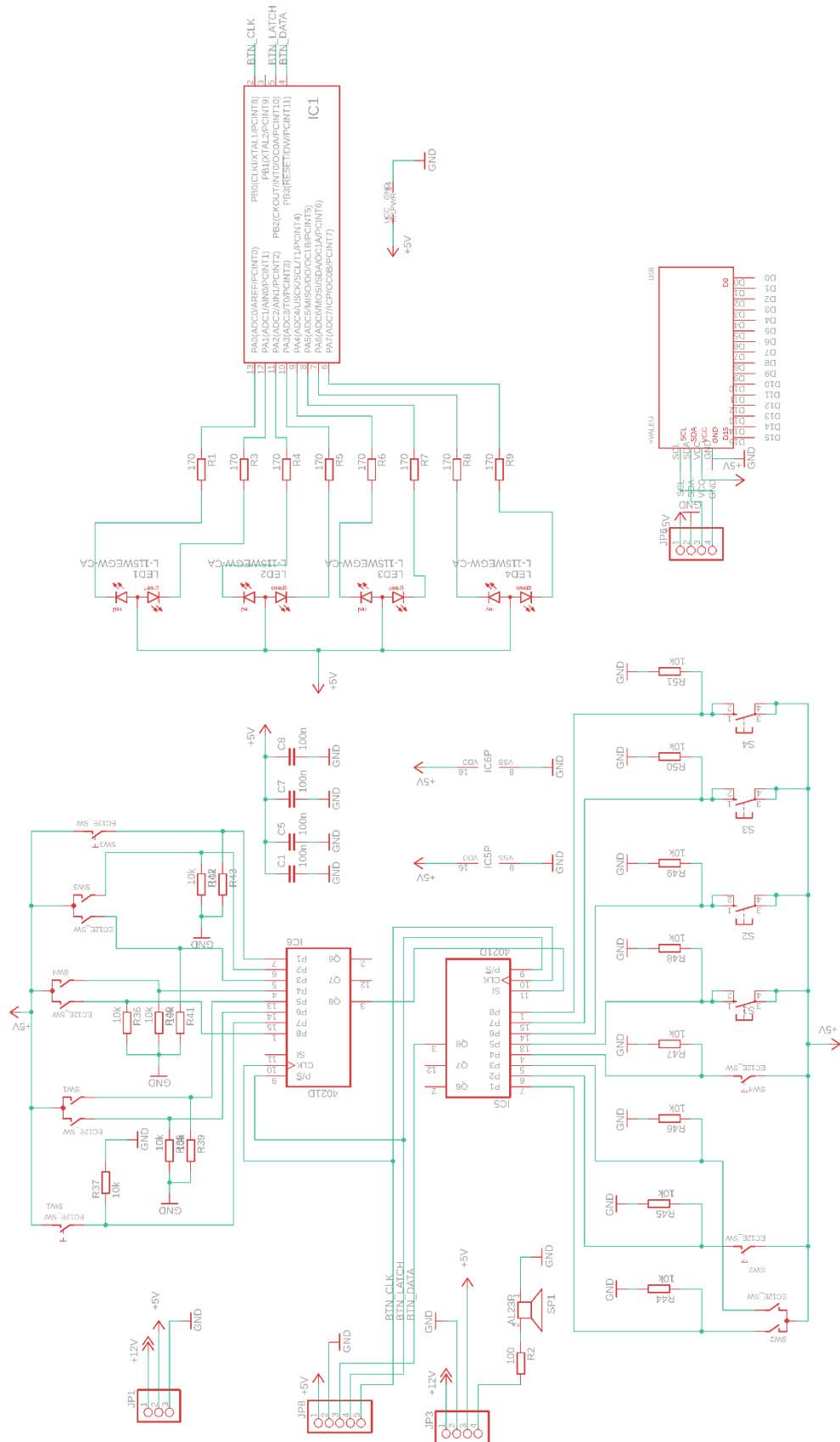
Obr. 4.8: Spájkovacie pero dizajnu Hakko [25] .....	36
Obr. 4.9: Solenoidový ventil na 12V DC [27] .....	38
Obr. 4.10: Pohľad na opravu po nehode .....	38
Obr. 4.11: Snímka z osciloskopu a toku dát do prevodníku pre displej .....	39
Obr. 4.12: Nový displej osadený na mieste .....	40
Obr. 4.13: Nákres rozloženia pinov a ich rozdiely v dokumentácii a v realite [26] .	41
Obr. 4.14: Dodatočné opravy na riadiacej DPS .....	42
Obr. 4.15: Prerušené vodivé cesty a funkčné indikačné LED .....	42
Obr. 4.16: Operačné zosilňovače s ladiacimi potenciometrami .....	44
Obr. 4.17: Schéma riešenia problému toku prúdu z gatu do zemného potenciálu ...	46
Obr. 4.18: Pôvodný návrh spínania triaku, odhalený ako nefunkčný .....	47
Obr. 4.19: Modifikované zapojenie s presunutým gatom .....	47
Obr. 4.20: Poškodené výkonové súčiastky a vodivé cesty .....	48
Obr. 4.21: Príklad návrhu spínania výkonových zariadení .....	48
Obr. 4.22: Vývojový diagram hlavného programu .....	50
Obr. 4.23: Vývojový diagram riadenia teploty .....	52

# A SCHÉMY ZARIADENIA

## A.1 Schéma riadiacej dosky

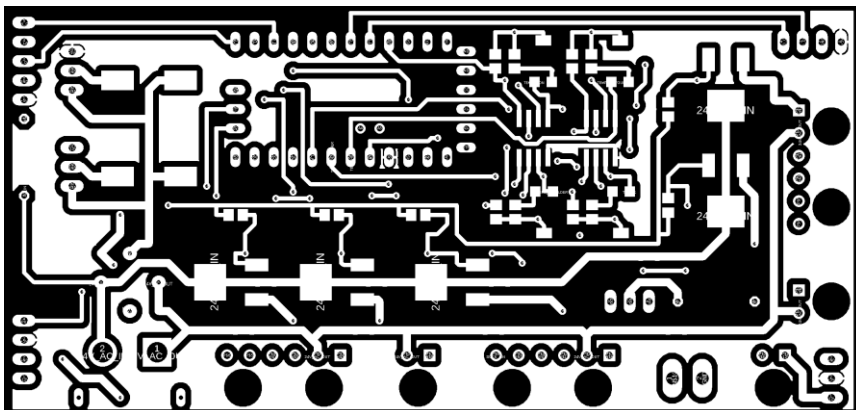


## A.2 Schéma ovládacej dosky



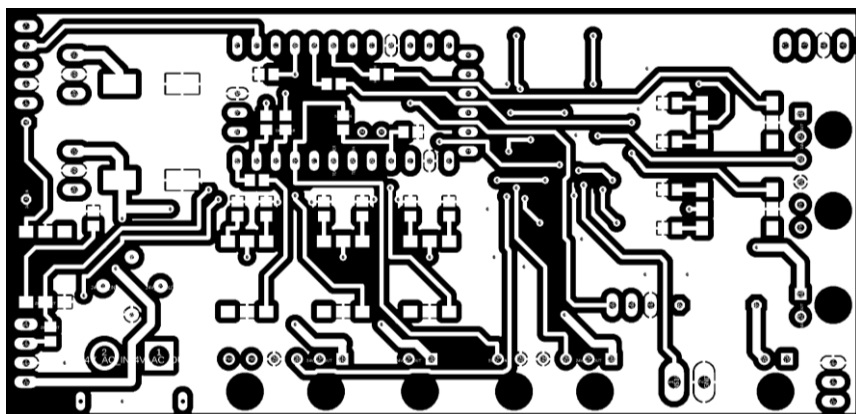
## **B DOSKY PLOŠNÝCH SPOJOV**

### **B.1 DPS riadiacej dosky - top (vrchná strana)**



Rozmer dosky 113,03 x 54,68 [mm] v mierke M1:1

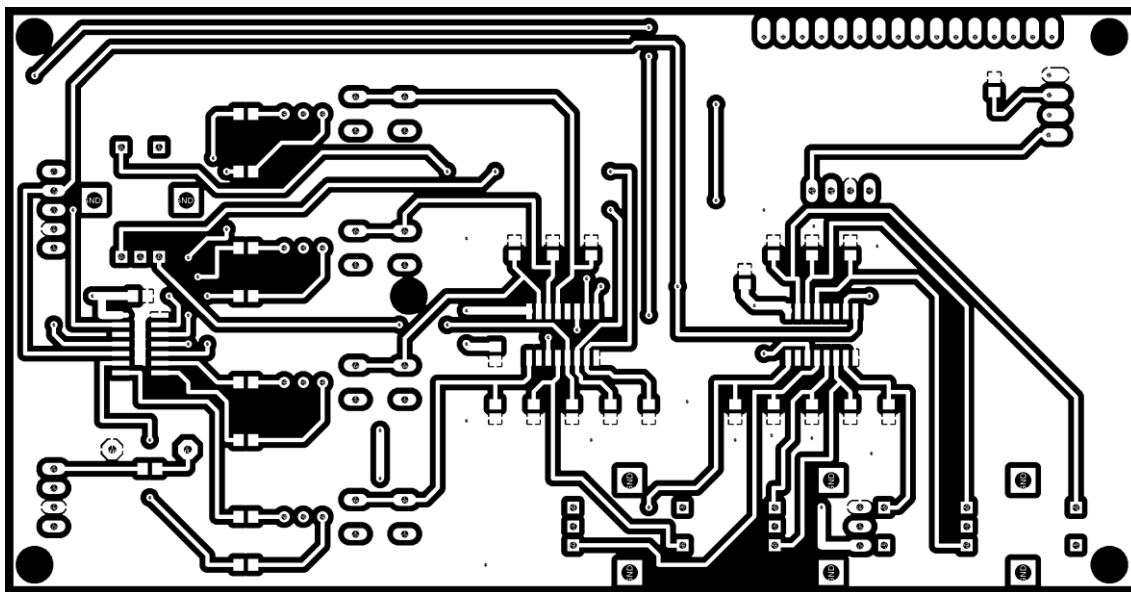
### **B.2 DPS riadiacej dosky – bottom (spodná strana)**



Rozmer dosky 113,03 x 54,68 [mm] v mierke M1:1

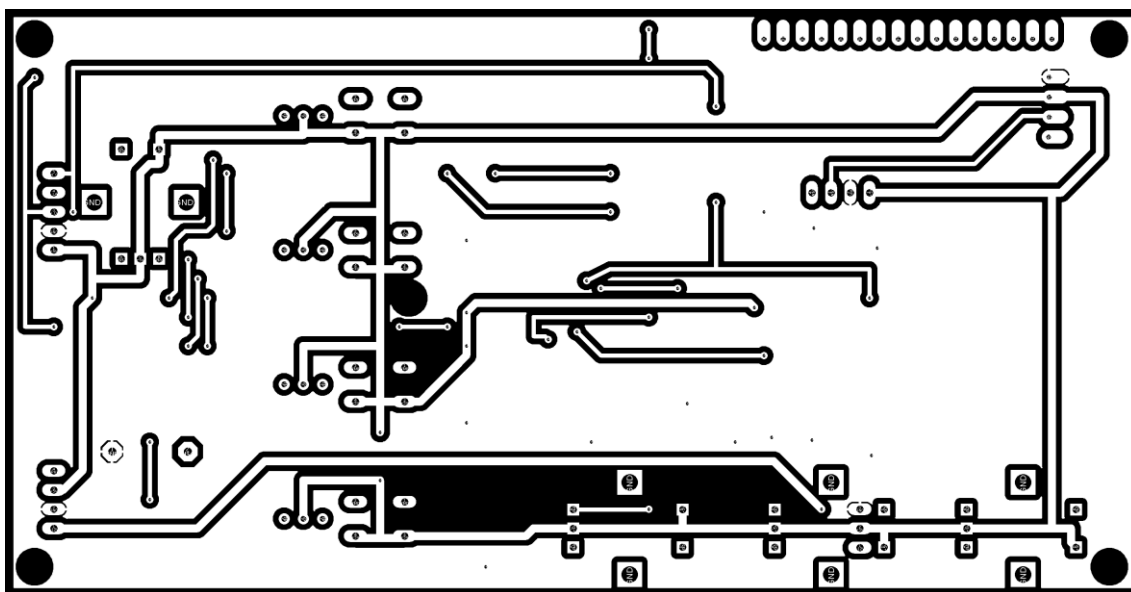


### B.3 DPS ovládacej dosky – top (vrchná strana)



Rozmer dosky 150 x 77,54 [mm] v mierke M1:1

### B.4 DPS ovládacej dosky – bottom (spodná strana)



Rozmer dosky 150 x 77,54 [mm] v mierke M1:1

# C ZOZNAM SÚČIASTOK

## C.1 Zoznam súčiastok riadiacej dosky

Označenie	Hodnota	Puzdro	Popis
C1	100u	153CLV-1012	Kondenzátor elektrolytický SMD
C2	100u	153CLV-1012	Kondenzátor elektrolytický SMD
C3	47u	153CLV-1012	Kondenzátor elektrolytický SMD
C4	47u	153CLV-1012	Kondenzátor elektrolytický SMD
C6	100n	C0805	Kondenzátor keramický SMD
IC1	7812	TO220	Regulátor 5V
IC2	7805	TO220	Regulátor 12V
IC3	LM358D	SO08	Operačný zosilňovač
IC4	LM358D	SO08	Operačný zosilňovač
J1	XT60PW-M	XT60PW-M	Napájací konektor XT60
JP2		1X03	Dutinkový konektor
JP3		1X04	Dutinkový konektor
JP5		1X04	Dutinkový konektor
JP7		1X05	Dutinkový konektor
OK1	4N27SM	DIL6-SMD	Optočlen
OK2	4N27SM	DIL6-SMD	Optočlen
OK3	4N27SM	DIL6-SMD	Optočlen
OK4	4N27SM	DIL6-SMD	Optočlen
OK5	4N27SM	DIL6-SMD	Optočlen
OK6	4N27SM	DIL6-SMD	Optočlen
Q1	IRFZ44N	TO220BV	Unipolárny tranzistor
R1	470	0207/10	Rezistor vývodový
R2	1M	R0805	Rezistor SMD
R3	1M	RTRIM4G/J	Potenciometer SMD
R4	1k	R0805	Rezistor SMD
R5	1M	RTRIM4G/J	Potenciometer SMD
R6	1k	R0805	Rezistor SMD
R7	1M	RTRIM4G/J	Potenciometer SMD
R8	1k	R0805	Rezistor SMD
R9	1M	RTRIM4G/J	Potenciometer SMD
R10	1k	R0805	Rezistor SMD

R11	4k7	R0805	Rezistor SMD
R12	100	R0805	Rezistor SMD
R13	1M	R0805	Rezistor SMD
R14	100	R0805	Rezistor SMD
R15	100	R0805	Rezistor SMD
R16	100	R0805	Rezistor SMD
R17	100	R0805	Rezistor SMD
R18	1M	R0805	Rezistor SMD
R19	1M	R0805	Rezistor SMD
R20	1M	R0805	Rezistor SMD
R21	1M	R0805	Rezistor SMD
R22	680	R0805	Rezistor SMD
R23	680	R0805	Rezistor SMD
R24	680	R0805	Rezistor SMD
R25	680	R0805	Rezistor SMD
R26	680	R0805	Rezistor SMD
R27	0R	R0805	Rezistor SMD
R28	0R	R0805	Rezistor SMD
R29	0R	R0805	Rezistor SMD
R30	0R	R0805	Rezistor SMD
R31	0R	R0805	Rezistor SMD
R32	0R	R0805	Rezistor SMD
R33	0R	R0805	Rezistor SMD
R34	0R	R0805	Rezistor SMD
R35	0R	R0805	Rezistor SMD
R37	4k7	R0805	Rezistor SMD
R52	10k	R0805	Rezistor SMD
R53	47	0207/10	Rezistor vývodový
U\$1	BTA208-S	DPAK	Triak
U\$2	PRO-MINI	PRO-MINI	Arduino
U\$3	BTA208-S	DPAK	Triak
U\$4	BTA208-S	DPAK	Triak
U\$5	BTA208-S	DPAK	Triak
U\$6	BTA208-S	DPAK	Triak
U\$7	W02M	KRUH	Usmerňovací mostík
X1	PUMP	43650-0200	Molex Micro-Fit 3.0
X2	DESOLDER	43650-0600	Molex Micro-Fit 3.0

X3	IRON	43650-0600	Molex Micro-Fit 3.0
X4	HEATGUN	43650-0600	Molex Micro-Fit 3.0
X5	SUCK	43650-0200	Molex Micro-Fit 3.0
X6		KK-156-2	Molex
X7	VALVE	43650-0200	Molex Micro-Fit 3.0

## C.2 Zoznam súčiastok ovládacej dosky

Označenie	Hodnota	Puzdro	Popis
C1	100n	C0805	Kondenzátor keramický SMD
C5	100n	C0805	Kondenzátor keramický SMD
C7	100n	C0805	Kondenzátor keramický SMD
C8	100n	C0805	Kondenzátor keramický SMD
IC1		SOIC14	ATtiny 841
IC5	4021D	SO16	CD4021D
IC6	4021D	SO16	CD4021D
JP1		1X03	Hrebienkový konektor
JP3		1X04	Hrebienkový konektor
JP6		1X04	Hrebienkový konektor
JP8		1X05	Hrebienkový konektor
LED1	R/G	LED-3MM	Dvojfarebná LED
LED2	R/G	LED-3MM	Dvojfarebná LED
LED3	R/G	LED-3MM	Dvojfarebná LED
LED4	R/G	LED-3MM	Dvojfarebná LED
R1	170	R0805	Rezistor SMD
R2	100	R0805	Rezistor SMD
R3	170	R0805	Rezistor SMD
R4	170	R0805	Rezistor SMD
R5	170	R0805	Rezistor SMD
R6	170	R0805	Rezistor SMD
R7	170	R0805	Rezistor SMD
R8	170	R0805	Rezistor SMD
R9	170	R0805	Rezistor SMD
R36	10k	R0805	Rezistor SMD
R37	10k	R0805	Rezistor SMD

R38	10k	R0805	Rezistor SMD
R39	10k	R0805	Rezistor SMD
R40	10k	R0805	Rezistor SMD
R41	10k	R0805	Rezistor SMD
R42	10k	R0805	Rezistor SMD
R43	10k	R0805	Rezistor SMD
R44	10k	R0805	Rezistor SMD
R45	10k	R0805	Rezistor SMD
R46	10k	R0805	Rezistor SMD
R47	10k	R0805	Rezistor SMD
R48	10k	R0805	Rezistor SMD
R49	10k	R0805	Rezistor SMD
R50	10k	R0805	Rezistor SMD
R51	10k	R0805	Rezistor SMD
S1		B3F-10XX	Mikrospínač
S2		B3F-10XX	Mikrospínač
S3		B3F-10XX	Mikrospínač
S4		B3F-10XX	Mikrospínač
SP1	AL23P	AL23P	Piezo-reproduktor
SW1	EC12E	ALPS-EC12E	Rotačný enkodér s tlačidlom
SW2	EC12E	ALPS-EC12E	Rotačný enkodér s tlačidlom
SW3	EC12E	ALPS-EC12E	Rotačný enkodér s tlačidlom
SW4	EC12E	ALPS-EC12E	Rotačný enkodér s tlačidlom
U\$8		I2C_TO_LCD	Prevodník I <sup>2</sup> C pre LCD